



## **ACADEMIA MILITAR**

**MESTRADO EM CIÊNCIAS MILITARES – ESPECIALIDADE DE  
ARTILHARIA**

### **A EVOLUÇÃO DA GEODESIA E SUA IMPORTÂNCIA NO MEIO MILITAR**

**AUTOR: Aspirante-Aluno de Artilharia António José Teixeira Correia**

**ORIENTADOR: Tenente Coronel de Infantaria Travanca Lopes**

**Lisboa, Abril de 2011**



# **ACADEMIA MILITAR**

**MESTRADO EM CIÊNCIAS MILITARES – ESPECIALIDADE DE  
ARTILHARIA**

**TRABALHO DE INVESTIGAÇÃO APLICADA**

**A EVOLUÇÃO DA GEODESIA E SUA  
IMPORTÂNCIA NO MEIO MILITAR**

**AUTOR: Aspirante-Aluno de Artilharia António José Teixeira Correia**

**ORIENTADOR: Tenente Coronel de Infantaria Travanca Lopes**

**Lisboa, Abril de 2011**





## DEDICATÓRIA

Aos Meus Pais por todos os sábios conselhos,  
à Rita pelo seu apoio e compreensão.



## **AGRADECIMENTOS**

Após a realização deste trabalho gostaria de agradecer e expressar o meu sincero reconhecimento a um conjunto de instituições e pessoas, que de uma forma ou de outra, contribuíram e tornaram possível a realização deste Trabalho de Investigação Aplicada (TIA), particularmente:

### AS INSTITUIÇÕES:

- À Academia Militar (AM) – a instituição que formou o Militar que sou.
- Ao Instituto Geográfico do Exército (IGeoE) – pelo apoio e condições proporcionadas para a realização deste TIA.

### AS PESSOAS:

- Ao Coronel de Artilharia Fernando Soares, Chefe do Gabinete de Informações e Segurança do EMGFA, pela total disponibilidade e pelos preciosos contributos prestados na entrevista;
- Ao Tenente-Coronel de Artilharia Luís Oliveira, Director dos cursos de Artilharia da Academia Militar, pela sua disponibilidade durante o TIA;
- Ao Tenente-Coronel de Infantaria Travanca Lopes, Chefe da Produção Cartográfica no IGeoE e meu Orientador, pela sua enorme disponibilidade e preciosa orientação no decorrer do TIA;
- Ao Major de Artilharia Freitas, do IGeoE, pela disponibilidade manifestada e informações fornecidas;
- Ao Tenente João Caetano de Engenharia Aeronáutica, pela total disponibilidade e pelas informações técnicas prestadas na entrevista;
- À Doutora Júlia Cardoso do Instituto Geográfico Português pelas revisões ao trabalho;
- À Doutora Sandra Almeida, da Faculdade de Arquitectura de Lisboa, pela sua disponibilidade e pelas revisões ao trabalho;
- A todos que, no decorrer deste Trabalho, contribuíram com bibliografia, opiniões e sugestões que serviram para melhorar e concluir o TIA.



## ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE ANEXOS .....	v
ÍNDICE DE APÊNDICES .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
ÍNDICE DE TABELAS .....	viii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS .....	ix
RESUMO .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
 INTRODUÇÃO .....	 1
 <b>CAPÍTULO I</b>	
<b>A EVOLUÇÃO DA GEODESIA .....</b>	<b>5</b>
I – História da Geodesia .....	5
 <b>CAPÍTULO II</b>	
<b>NOÇÕES GERAIS DE GEODESIA .....</b>	<b>9</b>
II.1 – Contextualização .....	9
II.2 – Sistemas de Coordenadas .....	9
II.2.1 – Coordenadas Naturais .....	10
II.2.2 – Coordenadas Geodésicas Elipsoidais .....	10
II.2.3 – Coordenadas Geodésicas Rectangulares .....	10
II.3 – O Geóide .....	11
II.4 – O Elipsóide .....	12
II.5 – A variação da gravidade .....	13
II.6 – O Datum (Orientação do elipsóide e o desvio da vertical) .....	13
 <b>CAPÍTULO III</b>	
<b>A GEODESIA ESPACIAL .....</b>	<b>15</b>
III.1 – Satélites e a Geodesia .....	15
III.1.1 – GPS/NAVSTAR .....	17
III.1.2 – GALILEO .....	20
III.1.3 – GLONASS .....	21
III.2 – SISTEMAS DE AMPLIAÇÃO .....	21



III.2.1 – EGNOS.....	22
III.2.2 – WAAS .....	23
III.2.3 – LAAS .....	24
 <b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>MODELOS DIGITAIS DO TERRENO.....</b>	<b>26</b>
IV – Contextualização .....	26
IV.1 – Modelo Digital do Terreno: Conceito teórico.....	27
IV.2 – Modelo Digital do Terreno: Erros inerentes .....	28
IV.3 – Modelo Digital do Terreno: Aplicações .....	28
 <b>CAPÍTULO V</b>	
<b>SISTEMAS AÉREOS NÃO TRIPULADOS.....</b>	<b>29</b>
V.1 – UAV enquadramento geral.....	29
V.1.1 – O conceito UAV .....	30
V.1.2 – Tecnologia.....	32
V.2 – Sistema de controlo de voo autónomo .....	32
V.3 – Imagem Operacional Comum (COP) .....	34
V.4 – Bateria de Aquisição de Objectivos do Exército Português (BAO) .....	35
V.5 – PITVANT: O projecto UAV em Portugal .....	37
 <b>CONCLUSÕES</b>	
<b>E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>38</b>
VI.1 – INTRODUÇÃO.....	38
VI.2 – REFLEXÕES FINAIS .....	38
VI.3 – VERIFICAÇÃO DAS HIPÓTESES .....	39
VI.4 – RECOMENDAÇÕES PARA INVESTIGAÇÕES FUTURAS.....	42
 BIBLIOGRAFIA.....	 43
 ANEXOS.....	 47
 APÊNDICES.....	 67



## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A – Glossário .....	48
Anexo B – Forma da Terra .....	55
Anexo C – Imagem de um distanciómetro analógico e digital .....	56
Anexo D – Bússola magnética .....	57
Anexo E – Cristóvão Colombo .....	58
Anexo F – Ordem do Exército nº2 de 7 de Janeiro de 1850.....	59
Anexo G – Marégrafo de Cascais .....	60
Anexo H – Vários tipos de receptores de GNSS .....	61
Anexo I – Arquitectura do GLONASS .....	62
Anexo J – Cobertura da Europa e EUA pelos SBAS.....	63
Anexo K – Exemplo de um Modelo Digital do Terreno .....	64
Anexo L – Capacidades ISTAR .....	65





## ÍNDICE DE APÊNDICES

Apêndice 1 – Gago Coutinho .....	68
Apêndice 2 – Sextante ou “Astrolábio de Precisão” de Gago Coutinho.....	69
Apêndice 3 – Teodolito digital .....	70
Apêndice 4 – Exemplo de um ILS.....	71
Apêndice 5 – Exemplo de um ILS.....	72
Apêndice 6 – Guião de entrevista ao Cor Art Fernando Soares.....	73
Apêndice 7 – Guião de entrevista ao Ten EngAer João Caetano .....	74



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema de medição do raio da terra segundo Eratóstenes. ....	6
Figura 2 – Ilustração do geóide, elipsóide e diferença de alturas entre ambos. ....	11
Figura 3 – Elipsóide de revolução .....	12
Figura 4 – Alterações á trajetória de voo de um míssil devido á variação da gravidade local. ....	13
Figura 5 – Posicionamento do elipsóide para um datum local ou global. ....	14
Figura 6 – 1ª Lei de Keppler. ....	18
Figura 7 – 2ª Lei de Keppler. ....	18
Figura 8 – Forma como é calculada a pseudo-distância a partir de 4 satélites.....	18
Figura 9 – Ilustração das três componentes constituintes do GPS.....	18
Figura 10 – Arquitectura do EGNOS.....	23
Figura 11 – Funcionamento do WAAS.....	23
Figura 12 – Arquitectura do sistema LAAS. ....	24
Figura 13 – Arquitectura do sistema autónomo de voo de um UAV. ....	33
Figura 14 – Forma da Terra por Thales Mileto .....	55
Figura 15 – Distânciómetro analógico.....	56
Figura 16 – Distânciómetro Digital acoplado a um Teodolito.....	56
Figura 17 – Bússola Magnética.....	57
Figura 18 – Cristóvão Colombo .....	58
Figura 19 – Ordem do Exército nº7 .....	59
Figura 20 – Marégrafo de Cascais.....	60
Figura 21 – Receptores Garmin Oregon 450 / Navigator 300 .....	61
Figura 22 – Sistema GLONASS.....	62
Figura 23 – Cobertura WAAS, EGNOS e MSAS.....	63
Figura 24 – Modelo Digital do Terreno.....	64
Figura 25 – Gago Coutinho.....	68
Figura 26 – Sextante de Gago Coutinho .....	69
Figura 27 – Teodolito Digital .....	70
Figura 28 – Antenas ILS, aeroporto de Zurique, Suíça.....	71
Figura 29 – Funcionamento do ILS.....	72



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Nomenclatura e classificação dos sistemas UAV .....31

Tabela 2 – Categorias ILS ..... 71



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

### A

<b>A.C.</b>	Antes de Cristo
<b>AJP</b>	Allied Joint Procedures
<b>AGI</b>	Associação Geodésica Internacional
<b>AM</b>	Academia Militar
<b>AOP</b>	Area Of Operations
<b>ATC</b>	Air Traffic Control
<b>AUSA</b>	Army of United States of America

### B

<b>BAO</b>	Bateria de Aquisição de Objectivos
------------	------------------------------------

### C

<b>C/A</b>	Course Aquisition
<b>CE</b>	Comissão Europeia
<b>COP</b>	Common Operational Picture

### D

<b>DoAF</b>	Department Of Air Force
<b>DoD</b>	Department Of Defense

### E

<b>EB</b>	Estação Base
<b>EGNOS</b>	European Geostationary Navigation Overlay System
<b>ESA</b>	European Space Agency
<b>EUA</b>	Estados Unidos da América



## F

<b>FA</b>	Forças Armadas
<b>FAA</b>	Federal Aviation Association
<b>FAFB</b>	Falcon Air Force Base
<b>FAP</b>	Força Aérea Portuguesa
<b>FCUL</b>	Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
<b>FM</b>	Field Manual

## G

<b>GCS</b>	Ground Control Station
<b>GDT</b>	Ground Data Terminal
<b>GLONASS</b>	GLObai'naya NAvigatsionnaya Spuntnikovaya Sistema
<b>GNSS</b>	Global Navigation Satellite System
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>GS</b>	Ground Station

## I

<b>ICAO</b>	International Civil Association Organization
<b>IFR</b>	Instrument Flight Rules
<b>IGeoE</b>	Instituto Geográfico do Exército
<b>ILS</b>	Instrument Landing System
<b>IPB</b>	Intelligence Preparation of Battlefield
<b>ISTAR</b>	Intelligence, Surveillance, Target Acquisition, and Reconnaissance
<b>ISR</b>	Intelligence, Surveillance and Reconnaissance

## L

<b>LAAS</b>	Local Area Augmentation System
-------------	--------------------------------

## M

<b>MCC</b>	Master Control Center
<b>MCS</b>	Master Control Station
<b>MDT</b>	Modelo Digital do Terreno
<b>MEO</b>	Medium Earth Orbit



**MSL** Mean Sea Level

## **N**

**NATO** North Atlantic Treaty Organization

**NAVSTAR** NAVigation Satellite with Time and Range

**NEP** Norma de Execução Permanente

**NM** Nautical Mile

**NRI** Naval Reasearch Institute

## **O**

**OCOPE** Observação e campo de tiro, Cobertos e abrigos, Obstáculos, Pontos importantes, Eixos de aproximação

## **Q**

**QD** Questão Derivada

**QO** Quadro Orgânico

## **R**

**RIMS** Ranging and Integrity Monitoring Stations

**RVT** Remote Video Terminal

**RX** Receptor

## **S**

**SAR** Search And Rescue

**SBAS** Space Based in Augmentation System

**SFN** Sistema de Forças Nacional

**SIC** Sistemas de Informação e Comunicação

**SIG** Sistemas de Informação Geográfica

## **T**

**TIA** Trabalho de Investigação Aplicado

**TIN** Triangulated Irregular Network



<b>TO</b>	Teatro de Operações
<b>TPO</b>	Tirocínio para Oficiais
<b>TX</b>	Transmissor

## **U**

<b>UAS</b>	Unmanned Aerial System
<b>UAV</b>	Unmanned Aerial Vehicle
<b>USAF</b>	United States Air Force
<b>UTC</b>	Universal Time Coordinated

## **V**

<b>VFR</b>	Visual Flight Rules
------------	---------------------

## **W**

<b>WAAS</b>	Wide-Area Augmentation System
<b>WMS</b>	Wide-Area Master Station
<b>WRS</b>	Wide-Area Reference Station



## RESUMO

Este Trabalho de Investigação Aplicada (TIA) está relacionado com a Geodesia, sendo o tema delimitado à sua influência nos *Unmanned Aerial Systems* (UAS) da Bateria de Aquisição de Objectivos (BAO).

A Geodesia enquanto ciência, estuda as dimensões e a forma da terra tendo para tal um conjunto de metodologias e técnicas que têm vindo a evoluir ao longo dos tempos, fornecendo para tal, diversos produtos importantes no apoio à decisão militar.

Actualmente os sistemas de navegação por satélite são um elemento fundamental na condução de operações militares, fornecendo precisão e rapidez na localização de forças, sistemas de armas e guiamento de mísseis.

Os UAS são cada vez mais um elemento imprescindível nas Forças Armadas (FA) mundiais, quer pelo seu enorme espectro de missões, quer pela sua fiabilidade e versatilidade no cumprimento de missões.

Este TIA tem como tema principal, conhecer a evolução da Geodesia, percorrendo a sua história desde a Geodesia Clássica até à actualidade com a Geodesia Espacial. Desta forma, o presente trabalho de investigação, pretende fornecer uma base de conhecimentos necessários para a compreensão desta Ciência e os seus actuais contributos para os sistemas UAS integrados na BAO.

No final deste TIA é feita uma síntese conclusiva acerca das contribuições dadas pela Geodesia para a informação georreferenciada, graças aos sistemas de posicionamento global por satélite, sendo referidos alguns exemplos tais como o GPS, GALILEO e GLONASS. É também estudado os UAS, sendo referenciado a sua constituição e a sua tecnologia que os torna totalmente autónomos do humano durante as suas missões.

**Palavras-Chave:** Geodesia, BAO, UAV, UAS, Informação georreferenciada.





## ABSTRACT

This applied research is related to the geodesy and their influence in the Unmanned Aerial Systems (UAS) of Battery of Acquisition Targets.

The geodesy as a science, studying the dimensions and shape of the earth having some methodology and techniques that have involved over the time, providing such diverse products to support the military decision.

Actually satellite navigation systems are a key element in the conduct of military operations, providing accuracy and speed in tracking forces, weapons systems and missile guidance.

The UAS are increasingly an essential mean to the armed forces both for its tremendous spectrum of missions, both for reliability and versatility in accomplishing missions.

This applied research as the main theme, about the evolution of geodesy, covering its history from classical geodesy to the present with space geodesy. Thus, this research work aims to find the contributions of geodesy to UAS integrated into Battery of Acquisition Targets.

At the end of this applied research is made a final conclusion about the contributions of geodesy to the georeferenced information, as well the current Global Navigation Satellite Systems and UAS into Battery of Acquisition Targets.

**Key words:** Geodesy, Battery Acquisition Targets, Unmanned Aerial Vehicle georeferenced information



## INTRODUÇÃO

O presente TIA surge no final dos cursos das armas e serviços da Academia Militar, cujo factor essencial é a aplicação do método científico, com vista à atribuição do Grau de Mestre. Pelo facto de ser um TIA no âmbito da Arma de Artilharia, foi escolhido como tema a evolução da Geodesia e a importância desta ciência para os UAS da BAO, encontrando-se esta na Escola Prática de Artilharia (EPA).

### PERGUNTA DE PARTIDA DA INVESTIGAÇÃO

As teses têm como objectivo elaborar uma investigação de forma a dar resposta a uma questão fundamental, que irá servir de luz orientadora para o trabalho, assim sendo a nossa pergunta de partida será: **Qual o contributo da Geodesia para o funcionamento dos Sistemas UAV integrados na Bateria de Aquisição de Objectivos?**

Como base orientadora na pesquisa da resposta à pergunta de partida, constituem-se como questões derivadas (QD) as seguintes:

- (QD1) Que informações fornece a Geodesia com relevância para as operações militares?
- (QD2) Quais as alterações mais significativas resultantes da evolução da Geodesia para os sistemas de georreferenciação?
- (QD3) Que relevância têm os UAS nas FA mundiais?
- (QD4) Que vantagens e limitações poderão trazer os UAV para o Exército Português?

### Enquadramento:

A Geodesia, enquanto ciência, desenvolveu um conjunto de técnicas e procedimentos que lhe permitem calcular a dimensão e a forma da terra. Inicialmente os objectivos que a Geodesia se propunha investigar eram bastante diferentes dos actuais, verificando-se dois períodos distintos, denominando-se por Geodesia Clássica e Geodesia Espacial. A Geodesia Clássica propunha-se a efectuar o levantamento de porções de terra de forma a ser representado cartograficamente, a partir da realização de trabalhos de campo. Com a evolução dos sistemas de navegação por satélite em meados dos anos 70, apareceu a chamada Geodesia Espacial alterando desta forma as metodologias de trabalho do antecedente, assim como alguns dos objectivos



definidos. Com a Geodesia Espacial veio-se a notar algumas vantagens em relação à Geodesia Clássica das quais referimos as mais importantes:

- A rapidez de obtenção de uma ou várias localizações precisas, em tempo “quase-real”, sem que para tal seja necessário a elaboração de cálculos matemáticos;
- A obtenção de coordenadas em qualquer ponto sem que para isso seja necessário a presença física, mesmo que seja um ponto de difícil localização ou até que seja numa localização impossível de ocupar;
- Não ser necessário ter conhecimentos avançados para poder operar com os vários sistemas receptores de localização por satélite.

Apesar destas vantagens referidas, muitas mais poderiam ser enunciadas mas para efeito de delimitação do trabalho referimos as que consideramos mais importantes. De notar que as referidas vantagens acima descritas podem ser um factor de desvantagem, visto que a dependência destes sistemas poderão levar ao esquecimento do “saber fazer”. Apesar da fiabilidade inerente, estes como qualquer outro sistema por muito desenvolvido que seja, pode falhar, tornando-se imprescindível o conhecimento das técnicas antecedentes de forma a colmatar as possíveis seguintes situações:

- Perda de sinal em zonas densamente arborizadas, edificadas ou túneis;
- O sistema poder ser desligado em qualquer altura por parte das entidades que detêm o controlo;
- O empastelamento do sistema por parte de forças opositoras.

### **Importância do trabalho**

Este trabalho reveste-se de enorme importância para a Artilharia, tendo como finalidade aprofundar os conhecimentos obtidos na frequência do Curso de Artilharia da Academia Militar, na área das ciências, mais concretamente na cadeira de Topografia, assim como, a divulgação de conhecimento científico acerca das novas tecnologias que permitem o cumprimento das mais diversificadas missões, existindo para tal uma interoperabilidade de sistemas entre ramos e exércitos de diferentes países.

Com este trabalho pretende-se aprofundar os conhecimentos adquiridos no curso das Armas da Academia Militar, mais especificamente na Arma de Artilharia, incidindo na Geodesia, conhecendo a sua Evolução até à actualidade e entender a sua importância para os demais objectivos a que esta se propõe; Conhecer os contributos desta Ciência para os demais sistemas globais de navegação por satélite e



aprofundar os conhecimentos que estes sistemas disponibilizam aos UAV. Pretende-se também estudar a aplicabilidade dos Sistemas Globais de Navegação por Satélite (GNSS – *Global Navigation Satellite System*) nos UAS e a valência destes meios no Exército Português.

### **Delimitação do tema**

Actualmente, a evolução dos demais sistemas de armas permite um maior alcance assim como uma maior precisão. Para que os sistemas de armas obtenham essa precisão necessária, requerem meios de informação e pesquisa, de forma a serem seleccionados os objectivos a bater. Com esta maior precisão, haverá menor probabilidade de ser cometido o fratricídio assim como danos colaterais.

A Geodesia enquanto Ciência tem vindo a evoluir, desde o seu aparecimento até à actualidade, fruto da constante evolução das teorias e tecnologia que a apoia. O presente estudo poderia abranger inúmeros sistemas de armas do campo de batalha que actualmente recebem o contributo da Geodesia, mas de forma a delimitar a extensão deste trabalho, optamos por restringir o estudo aos UAS.

A detecção e aquisição de objectivos são uma missão de extrema importância no campo de batalha e sendo desempenhada essencialmente pelos UAS.

Deste modo, é pertinente verificar e conhecer de que forma a Geodesia ao longo dos tempos veio a surtir efeitos nos UAS que equiparão a BAO.

### **Orientação metodológica**

Para a realização deste trabalho foi feita uma pesquisa documental sobre as diferentes metodologias praticadas desde a Geodesia Clássica, até à Geodesia Espacial e a sua aplicação nos sistemas de Comando e Controlo dos UAV.

A metodologia foi enquadrada no âmbito de uma investigação científica, envolvendo a consulta de livros técnicos, documentos on-line e revistas especializadas:

- Pesquisa bibliográfica em livros técnicos;
- Pesquisa de fontes primárias;
- Pesquisa em revistas técnicas nacionais;
- Pesquisa em sites de organizações e instituições que desenvolvem e operam esses tipos de sistemas;



- Entrevistas com militares especializados nesses tipos de sistemas, visando conhecer os seus testemunhos de tradição e opiniões sobre essas tecnologias;
- Cruzamento dos instrumentos metodológicos atrás enunciados.

A recolha de informação foi feita junto das bibliotecas do Instituto Geográfico do Exército, da Faculdade de Ciências de Lisboa e apoio documental na Força Aérea Portuguesa (FAP).

### **Organização do trabalho**

O presente trabalho encontra-se estruturado numa introdução, cinco capítulos e uma conclusão, da seguinte forma:

Capítulo I – A evolução da Geodesia; neste capítulo é abordada a Geodesia e todos os seus factos históricos, nomeadamente os seus principais teorizadores e a forma como ganhou relevância no panorama científico mundial.

Capítulo II – Noções Gerais de Geodesia; neste capítulo serão estudadas algumas noções mais importantes da Geodesia, assim como, conceitos do Geóide e Elipsóide de revolução, importantes para uma compreensão da Ciência.

Capítulo III – A Geodesia Espacial; neste capítulo serão abordados os sistemas de posicionamento globais por satélite, dando ênfase às influências dadas pela geodesia para estes sistemas de localização, as suas limitações, as suas vantagens e de que forma os sistemas de aumento podem cobrir algumas dessas limitações.

Capítulo IV – Modelos Digitais do Terreno; neste capítulo faremos uma abordagem aos modelos digitais do terreno: Estando actualmente numa era digital, a cartografia analógica deu lugar à chamada cartografia digital.

Capítulo V – Sistemas Aéreos Não Tripulados; neste capítulo abordaremos os UAS, nas suas vantagens e limitações, conhecendo de que sistema se trata e a sua aplicabilidade na bateria de aquisição de objectivos localizada na EPA, fazendo referência ao Projecto de Investigação Tecnológico de Veículos Aéreos Não Tripulados (PITVANT) da FAP.

Por último, no final do trabalho, apresentaremos as conclusões baseadas na pesquisa elaborada ao longo do trabalho, procurando responder à questão principal do trabalho, anteriormente descrita, e às questões subsequentemente derivadas que nos propusemos responder.



## CAPÍTULO I

### A EVOLUÇÃO DA GEODESIA

#### 1 – História da Geodesia

A Geodesia nasce nas altas culturas do Médio Oriente tendo resultado da necessidade de conhecer o mundo à sua volta e, consequentemente, a forma e dimensão da terra, com o propósito de levantar<sup>1</sup> e dividir por parcelas as propriedades. Relacionando-se com outras ciências, a Geodesia teve vários avanços na técnica de medições de distâncias e ângulos, estando sempre essa evolução dependente da evolução dessas outras ciências<sup>2</sup> (Academia Militar, 1988).

Os primeiros documentos de estudos geodésicos remontam a Thales de Mileto (625 – 547 A.C.), sendo já nessa altura, a Geodesia uma ciência de grande prestígio que atraía muitos “pensadores” conceituados, assim como matemáticos, físicos e filósofos. Para Thales de Mileto, a terra teria uma forma de um disco que flutuaria sobre o imenso oceano, cercando a terra na sua totalidade. A terra rodaria sobre um eixo imaginário que atravessava esse disco no seu centro, como representa a figura em anexo 1 (O’Grady, 2004).

Para Anaximandro (611 – 547 A.C), a terra seria um cilindro que girava em torno de um eixo apontado na direcção Este-Oeste estando rodeada por um infinito número de estrelas<sup>3</sup>, noção esta que daria origem ao conceito de esfera celeste e o consequente nascimento da ciência denominada por Astronomia (Apontamentos da FCUL, 2009).

Mais tarde, Eratóstenes (276 – 194 A.C) considerado o “pai” da Geodesia, efectuou a primeira medição do raio da terra com base na medição da diferença de latitude entre Alexandria e Siena como se ilustra na figura 1 verificou que ao meio dia o sol iluminava o fundo de um poço de Siena, nesse mesmo instante o sol projectava uma sombra em Alexandria. A sombra projectada fazia um ângulo de 7°12’ com a vertical (1/50 de 360°). Eratóstenes assume que a distância em linha recta entre as

---

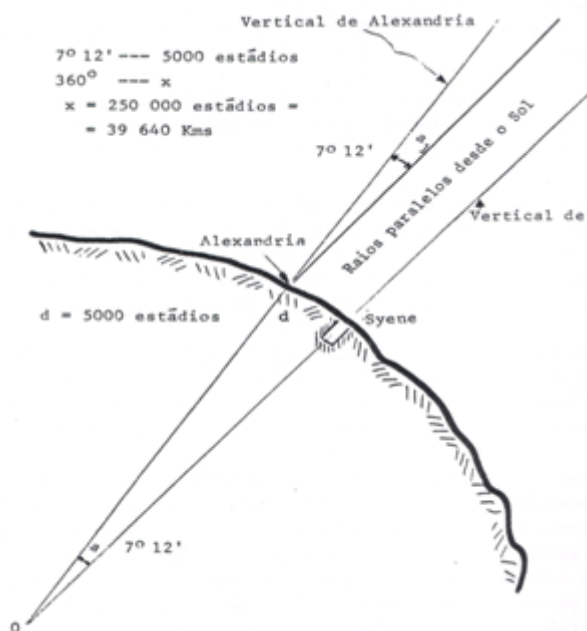
<sup>1</sup> Efectuar o “levantamento” de uma porção de terreno – Termo muito utilizado na Topografia, com o significado de efectuar a aquisição de dados e informação necessários para a delimitação de uma determinada porção de terreno. Ver definições de cadastro e levantamento no glossário deste TIA (Gaspar, 2008).

<sup>2</sup> Astronomia, Matemática e Física.

<sup>3</sup> Primeiro conceito de esfera celeste.



duas cidades é de 5000 estádios<sup>4</sup>. As cidades de Alexandria e Siena estão sob a linha de orientação Norte-Sul, levando Eratóstenes a concluir assim que, a circunferência terrestre entre ambas seria de 250.000 estádios o que resultaria numa distância de cerca 39.640 km, valor este muito aproximado dos cálculos efectuados recentemente com recurso a sistemas tecnologicamente avançados (Academia Militar, 1998).



**Figura 1 – Esquema de medição do raio da terra segundo Eratóstenes.**

Fonte: Academia Militar, 1998.

Estrabão (63 A.C – 24 D.C) conhecido pela sua importante obra sobre Geografia constituída por 17 volumes, tendo sido recuperadas após o grande incêndio na biblioteca de Alexandria, permite-nos concluir que, os gregos já usariam um grande número de instrumentos, ainda que rudimentares, para efectuar medições de distâncias e ângulos (dioptra, nível e mira), tendo estes sido posteriormente aperfeiçoados pelos romanos, sendo fundamentais para posteriores trabalhos de campo.

Ptolomeu (75 – 151 A.C) cientista grego conhecido pelos seus trabalhos essencialmente nas áreas da Geografia, Astronomia e Matemática, elaborou obras importantes das quais destacamos “Geografia”, obra esta que continha um Mapa-Mundo já com as coordenadas de latitude e longitude do Império Romano.

Por volta do século XII e com o aparecimento da bússola magnética<sup>5</sup>, inicia-se o despoletar da exploração marítima, tendo nessa altura sido adoptado pelos navegadores um mapa de navegação derivado do que foi apresentado por Ptolomeu,

<sup>4</sup> Aproximadamente 787,5 km.

<sup>5</sup> Consultar anexo D.



apenas tinha de novo o traçado de linhas de latitude e longitude de um território mais vasto, não se limitando apenas ao território Romano como anteriormente por Ptolomeu.

Séculos mais tarde deparamo-nos com grandes descobertas na área da exploração marítima, das quais destacamos, por Cristóvão Colombo<sup>6</sup> em 1492 o descobrimento da América e por Vasco da Gama em 1497, que chega à Índia efectuando a circum-navegação em torno de África.

Foi nos finais do Século XIX que foram efectuados os primeiros trabalhos geodésicos e topográficos em Portugal por parte do Coronel Brito Limpo (1832-1891), tendo sido autor de vários trabalhos e inventos, dos quais se salienta o “nível Brito Limpo”, sendo utilizado em nivelamentos de precisão até ao ano de 1929.

Pela Ordem do Exército de 7 de Janeiro de 1850<sup>7</sup> poderá verificar-se a importância dada pelo governo do reino de Portugal à «Geodesia, Topografia, Cadastro e Estatística de um país» (Academia Militar, 1988).

Não podendo deixar no esquecimento, considerado por imensos autores o mais importante geógrafo português, Gago Coutinho<sup>8</sup> que foi responsável pelos trabalhos de delimitação de fronteiras e geodesia em Timor, Moçambique, Angola e São Tomé, tendo sido nomeado Chefe da Missão Geodésica da África Oriental, onde nela trabalhou durante cerca de 4 anos, de Maio de 1907 até ao início de 1911.

Foi durante essa missão que conheceu Sacadura Cabral, com quem veio a colaborar em projectos de navegação aérea. Sacadura Cabral e Gago Coutinho efectuaram diversas viagens juntos, incluindo a primeira travessia aérea entre Lisboa e Funchal em 1921, aperfeiçoando deste modo os vários métodos de observação em desenvolvimento na altura, que consistiam na navegação aérea sem pontos de referência terrestres.

Mais tarde o que veio a celebrar Gago Coutinho foi o seu trabalho científico, pioneiro na navegação aérea astronómica e a realização da primeira travessia aérea do Atlântico Sul, entre Lisboa e o Rio de Janeiro. Já desde os primeiros voos realizados, que Gago Coutinho tentava resolver os problemas que se punham à navegação aérea astronómica. Existia então o problema de estabelecer uma linha “imaginária” ao longo do horizonte, que se estabelecesse como referência para medições astronómicas. Para resolver o problema de medição da altura de um astro sem horizonte de mar disponível, Gago Coutinho concebeu o primeiro sextante adaptado da Marinha, com um “horizonte artificial”, podendo este ser utilizado a bordo

---

<sup>6</sup> Consultar anexo E.

<sup>7</sup> Consultar anexo F.

<sup>8</sup> Consultar apêndice 1.





das aeronaves. Este instrumento, que Gago Coutinho denominou de “astrolábio de precisão”<sup>9</sup> permite materializar um “horizonte artificial” através de um nível de bolha de ar a partir do qual constituía um referencial para medição da altura angular dos astros (Instituto Camões, 2005).

Já no final do Século XX com a crescente evolução dos aparelhos electromagnéticos<sup>10</sup>, sistemas computacionais, assim como, a Engenharia Espacial com a colocação dos primeiros satélites espaciais em órbita, vieram a facilitar o ajustamento e medição das redes globais de Triangulação. Foi então quando surgiram os primeiros sistemas geodésicos de referência<sup>11</sup> (WGS84 – *World Geodesic System* 1984), que permitiam uma localização precisa em qualquer ponto do globo terrestre, obtendo para tal uma distorção mínima.

Resultante desta constante evolução até aos tempos de hoje, surgem diversas aplicações que servem de apoio em diversas áreas tais como, a Agricultura, a Agrimensura, a Navegação, entre outras.

---

<sup>9</sup> Consultar apêndice 2.

<sup>10</sup> Teodolitos e distanciómetros, consultar anexo C.

<sup>11</sup> Consultar glossário em anexo A.



## **CAPÍTULO II**

### **NOÇÕES GERAIS DE GEODESIA**

#### **II.1 – Contextualização**

São inúmeras as definições que encontramos de “O que é a Geodesia?”, “o que trata a Geodesia?”, “que elementos fornece para outras disciplinas dos ramos das ciências?”. Depois de investigar a definição de Geodesia, verificámos que as várias definições encontradas tiveram ao longo dos tempos uma transformação/evolução, com o objectivo de definir o produto final desta ciência, assim, considerámos como “mais actuais” ou “mais válidas” as definições de Geodesia, da Associação Geodésica Internacional<sup>12</sup> em 1980 e de Petr Vanicek<sup>13</sup>.

“A Geodesia é a ciência que estuda a forma, dimensão da Terra e outros corpos celestes, incluindo o estudo dos seus campos gravíticos em vários pontos distintos, num espaço a três dimensões e variando com o tempo” (Associação Geodésica Internacional, 1980). Desta forma, actualmente, a Geodesia fornece o conhecimento da dinâmica da Terra, o campo gravítico em diferentes locais, o apoio à cartografia e cadastro, definição de fronteiras terrestres, apoio a operações militares, dados aos sistemas de posicionamento globais e muito mais. Segundo Petr Vanicek a Geodesia enquanto ciência, interliga-se com outras ciências<sup>14</sup>, recebendo delas o conhecimento necessário para solucionar os problemas com que se depara, fornecendo informações sobre a terra a essas mesmas ciências, sendo estas utilizadas para explicar certos fenómenos com que as anteriores se deparam.

#### **II.2 – Sistemas de Coordenadas**

Para que a Geodesia referencie pontos à superfície da terra, esta recorre aos mais variados sistemas de coordenadas, escolhendo o sistema de coordenadas que mais se adapte à situação para que nos seus valores de coordenadas haja o mínimo de distorção. É extremamente difícil partindo de um sistema esférico de coordenadas com unidades de graus (radianos, ou milésimos) e quantificar para a superfície terrestre (sistema plano), sem que para isso haja o mínimo de distorção de valores

---

<sup>12</sup> INTERNATIONAL ASSOCIATION OF GEODESY em <http://www.iag-aig.org/>.

<sup>13</sup> Professor e investigador na área de Geodesia e Geomática na Universidade de New Brunswick, Canadá.

<sup>14</sup> Astronomia, Física, Matemática.



entre estes dois sistemas, visto que, as unidades de medida de ambos são diferentes (USAF, 2001). Desta forma, a Geodesia, tratou de equacionar um número de relações entre vários sistemas de coordenadas, permitindo a transformação entre sistemas, quando seja necessário.

Para isso existem vários sistemas de coordenadas, sendo estes classificados em coordenadas geodésicas naturais, geodésicas elipsoidais e geodésicas rectangulares.

### **II.2.1 – Coordenadas Naturais<sup>15</sup>**

As superfícies de nível e a vertical do lugar<sup>16</sup> podem ser utilizadas para definir um sistema de coordenadas curvilíneas, que designaremos por coordenadas naturais (Casaca et al., 2005).

Com base na posição aparente dos astros, obteremos a latitude astronómica, longitude astronómica e o azimute astronómico a partir de um ponto P localizado na superfície terrestre.

### **II.2.2 – Coordenadas Geodésicas Elipsoidais**

São coordenadas obtidas com recurso a um dado elipsóide como referência, posicionado em relação á terra, para um dado ponto P da superfície terrestre, sendo correspondido as suas projecções designadas por P' sob a normal ao elipsóide (Casaca et al., 2005).

Para cada ponto P á superfície terrestre é definido sob o elipsóide de referência, a sua longitude, latitude e altitude geodésica servindo de localização tridimensional desse ponto P em relação ao elipsóide considerado de referência.

### **II.2.3 – Coordenadas Geodésicas Rectangulares**

As coordenadas Geodésicas Rectangulares são obtidas com recurso a um sistema de coordenadas cartesiano tridimensional, cuja origem coincide com o centro do elipsóide de referência. Com este sistema, as coordenadas de um ponto serão definidas por três coordenadas sob os respectivos eixos (X, Y, Z) (Matos, 2008).

---

<sup>15</sup> As coordenadas naturais também podem ser designadas por coordenadas astronómicas. (Matos, 2008).

<sup>16</sup> Vulgarmente conhecida por “linha do fio-de-prumo”.

### II.3 – O Geóide

O Geóide traduz-se por uma superfície equipotencial<sup>17</sup> do campo gravítico terrestre e coincidente com o nível médio do mar<sup>18</sup> (Matos, 2008). Assim, a superfície geoidal, tende a acompanhar as elevações existentes na superfície terrestre, assim como, as depressões existentes nos oceanos, dependendo das diferenças de gravidade existentes em cada região/local. A geometria do Geóide é caracterizada pela sua relação com a superfície elipsoidal de referência, sendo que, a diferença entre estas duas superfícies é designada por «ondulação do geóide» ou «altura Geoidal<sup>19</sup>», segundo a sua normal, correspondendo a letra N, como representado na figura 2.

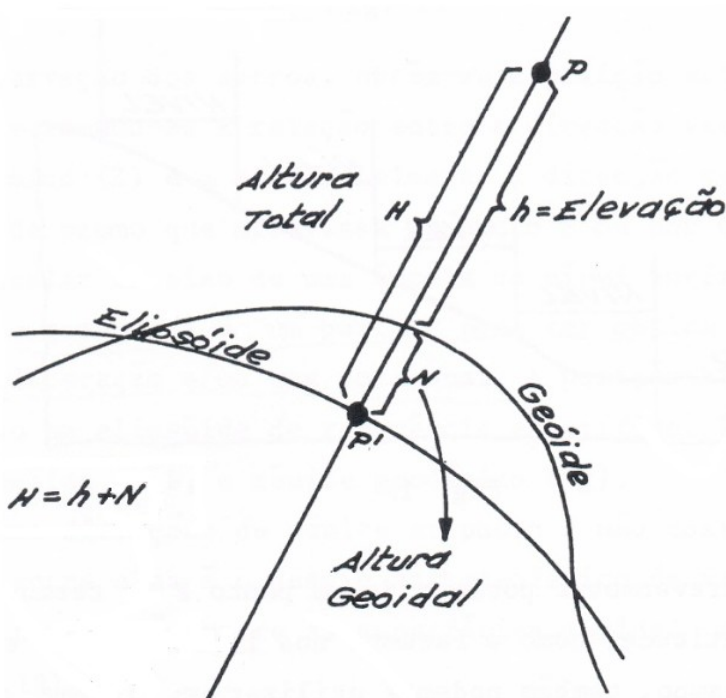


Figura 2 – Ilustração do geóide, elipsóide e diferença de alturas entre ambos.

Fonte: Vanicek, 1986.

Estas diferenças gravitacionais na prática não vêm a traduzir grandes diferenças entre a superfície geoidal e a superfície elipsoidal, sendo que, o Geóide nunca se afasta mais de 100 metros de um elipsóide bem ajustado (Snyder, 1987). Estas diferenças em relação ao elipsóide verificam-se em diferentes locais da terra e reflectem-se devido às variações gravitacionais como referido, mas também às densidades das massas da crosta terrestre.

<sup>17</sup> Superfície em que apresenta o mesmo potencial gravítico, não variável em toda a sua extensão.

<sup>18</sup> Superfície de referência, estabelecida como padrão, para medições de altitudes.

<sup>19</sup> Para melhor interpretação poderemos designar também como «afastamento do Geóide em relação ao Elipsóide» (Academia Militar, 2001).



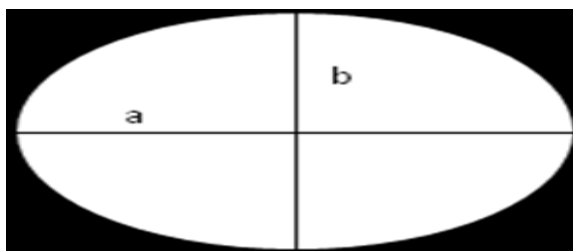
O Geóide é a superfície utilizada para os trabalhos de campo em que são utilizados aparelhos de determinação de coordenadas com luneta<sup>20</sup> que funcionam recorrendo a superfícies de nível, sendo essas diferenças posteriormente ajustadas ao elipsóide (Matos, 2008).

## II.4 – O Elipsóide

O Elipsóide é a figura geométrica que mais se aproxima da superfície terrestre e que, ao mesmo tempo, permite a projecção de todas as posições da superfície topográfica e fornece a capacidade de efectuar cálculos de distâncias e azimutes com maior facilidade (Apontamentos FCUL, 2009). Contrariamente ao que se passa com o Geóide devido à sua irregularidade resultante das variações do campo gravítico como vimos anteriormente e como refere o autor João Matos que «A irregularidade do Geóide» torna complexa a sua expressão analítica e obriga à sua substituição por superfícies de geometria regular e expressão analítica mais simples quando se tem em vista a utilização de uma superfície para suportar a georreferenciação<sup>21</sup>: esferas e elipsóides biaxiais<sup>22</sup>.

A descrição de um elipsóide de revolução é feita com recurso a expressões matemáticas dadas pelo comprimento do seu semieixo maior  $a$ , semieixo menor  $b$ , derivando a partir destas, o achatamento  $f$  e o quadrado da primeira excentricidade  $e^2$  descrito na Figura 3 (Academia Militar, 1988).

$$f = \frac{a - b}{a} ; \quad e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$$



**Figura 3 – Elipsóide de revolução e fórmulas de cálculo do achatamento e excentricidade.**

Fonte: Academia Militar, 1988, adaptado.

<sup>20</sup> Consultar apêndice 3.

<sup>21</sup> Denomina-se por georreferenciação, toda a informação geográfica referenciada segundo um referencial.

<sup>22</sup> Biaxiais ou de revolução: Quando uma elipse efectua uma rotação em torno do seu eixo menor, ver elipsóide de referência em glossário.

## II.5 – A variação da gravidade

A terra na sua constituição, não é perfeitamente homogênea. Devido à existência de vales, rios, diferentes tipos de minerais no seu interior, vem em muito alterar a diferença da gravidade à superfície e por vezes o próprio geóide como ilustra a Figura 4. Essa variação de gravidade, traduzira-se em variados efeitos, tais como, na trajectória de voo de um míssil, que ao atravessar diferentes regiões do globo, estará sujeito a essas variações da gravidade, assim como no fio-de-prumo que quando perto de uma massa densa ou uma montanha tenderá a desviar-se do seu valor referência (Academia Militar, 1988).

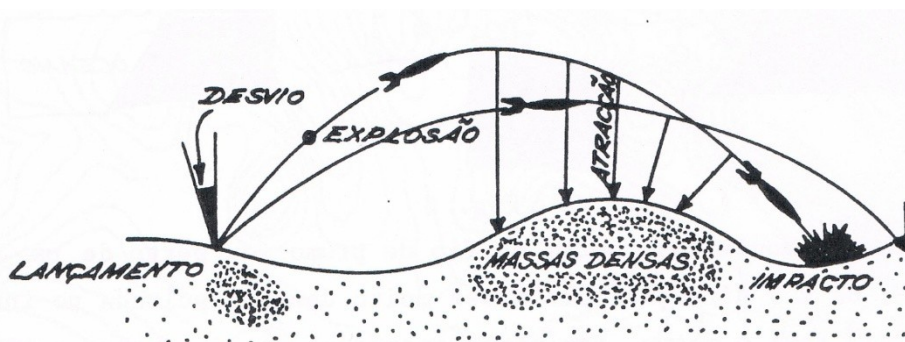


Figura 4 – Alterações à trajectória de voo de um míssil devido à variação da gravidade local.

Fonte: Academia Militar, 1988.

## II.6 – O Datum (Orientação do elipsóide e o desvio da vertical)

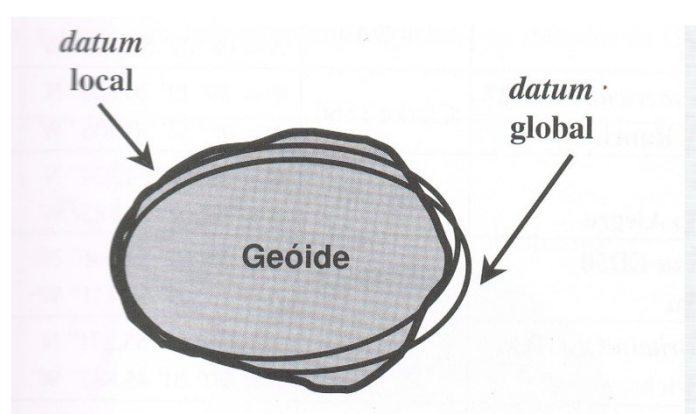
Um datum é um modelo matemático a partir do qual é representada a terra, superfície esférica numa carta, superfície planificável. Em Geodesia podemos encontrar os conceitos de Datum altimétrico e Datum Geodésico. O Datum altimétrico serve de base para cálculos de altitudes ortométricas para um dado ponto P, podendo ser estes locais, regionais ou globais. Os data locais baseiam-se num único marégrafo, os regionais baseiam-se em vários marégrafos e os data globais baseiam-se num conjunto de marégrafos localizados pelo globo terrestre (Casaca et al., 2005). Os Data altimétricos estando normalmente associados a um marégrafo<sup>23</sup>, permite o cálculo da altitude geoidal<sup>24</sup> de um ponto na vizinhança recorrendo aos registos do nível médio do mar (MSL)<sup>25</sup>. O Datum geodésico serve de base para cálculos das coordenadas geodésicas de um determinado ponto P. Assim como os data altimétricos, os data geodésicos também podem ser locais, regionais ou globais, dependendo do ajuste do elipsóide em relação à área a considerar, conforme ilustrado

<sup>23</sup> Consultar anexo G.

<sup>24</sup> Ou “cota”, ver glossário em anexo A.

<sup>25</sup> Termo designado em inglês: *Mean Sea Level* (DINST, 1993)

na figura 5. Nos data local, o posicionamento do elipsóide de referência é efectuado tendo em conta uma estação terrestre e é utilizado para elaboração de cartografia local, visto que a sua distorção em pontos na vizinhança será quase nula<sup>26</sup>. Nos data regionais, o posicionamento do elipsóide é efectuado com recurso a várias estações terrestres, sendo efectuado os reajustes necessários para que haja o mínimo de distorção entre as estações e o elipsóide. Nos data globais é posicionado um elipsóide recorrendo a várias estações terrestres localizadas em vários continentes. Deste tipo de datum podem resultar pequenas diferenças entre as coordenadas naturais e geodésicas, resultante do ajustamento entre estações (Casaca et al., 2005).



**Figura 5 – Posicionamento do elipsóide para um datum local ou global.**  
(Casaca et. al., 2005).

<sup>26</sup> Nesta situação, utilizamos o termos “quase nula” para definir a diferença de uma menos distorção, sabendo que esta distorção não pode ser nula (=0) mas que podem ser obtidos valores próximos.



## CAPÍTULO III

### A GEODESIA ESPACIAL

#### III.1 – Satélites e a Geodesia

Com o evoluir dos tempos e as constantes descobertas científicas, face a um mundo em constante evolução veio a surtir efeitos nas mais variadas ciências. A Geodesia não foi excepção e a Geodesia Clássica que conhecíamos, com os seus objectivos e metodologias de trabalho, vieram a ser alteradas fruto da evolução constante. Assim, nasceu uma derivante da Geodesia Clássica, denominando-se por Geodesia Espacial. A Geodesia Espacial centrando-se nas linhas orientadoras da Geodesia Clássica, veio preencher um espaço decorrente da evolução das técnicas de estudo da dimensão da terra, recorrendo para isso à tecnologia de ponta. Com o aparecimento dos satélites<sup>27</sup>, uma nova era veio a despoletar um conjunto de necessidades que teriam que ser satisfeitas. O estudo da forma e dimensão da terra passou a efectuar-se com o recurso a satélites, orbitando em torno da terra, fornecendo elementos necessários para o cálculo com maior rigor de distâncias, azimutes e elevações, extremamente importantes para a navegação nos três vectores que a constituem.

Os primeiros estudos geodésicos realizados com recurso aos satélites geodésicos datam de 1958 e foram publicadas pelo Observatório Astrofísico da Fundação Smithsonian, a partir de dados obtidos do Projecto *Vanguard*.

O Projecto *Vanguard* era de uma participação conjunta entre o *Naval Research Institute* (NRI) e o DoD (*Department of Defense*) com o objectivo de colocar um satélite em órbita que permitisse obter informações necessárias para o estudo das propriedades físicas da Terra (IGeoE, 2000).

A partir deste projecto, foram verificados grandes desenvolvimentos tecnológicos com interesse para a Geodesia, tais como, o aperfeiçoamento de diverso tipo de equipamento para medição de distâncias por efeito *Doppler*<sup>28</sup>, sendo ferramentas importantes para a dedução de parâmetros do campo gravitacional da

---

<sup>27</sup> Satélites Artificiais Terrestres ou abreviatura SAT.

<sup>28</sup> A partir do efeito Doppler, é possível o cálculo de distâncias a partir das frequências de ondas transmitidas/recebidas pelos SAT (IGeoE, 2000). Ver glossário.





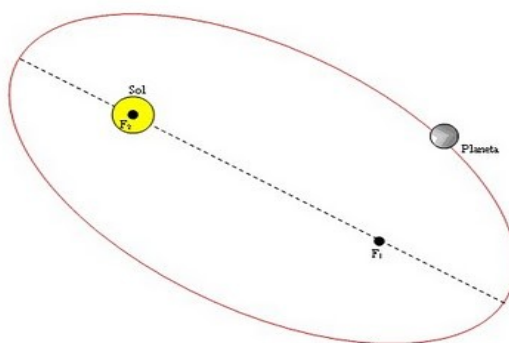
terra e na obtenção dos valores actuais das dimensões e achatamento da terra (IGeoE, 2000).

O tempo para um instante desempenha um papel fundamental para o posicionamento geodésico com recurso a qualquer sistema de navegação global por satélite. É a partir deste tempo que são calculadas distâncias, determinadas a partir do tempo decorrido entre a emissão e recepção de um sinal entre um emissor e um receptor para um determinado instante “t”. Este tipo de cálculo exige uma grande precisão, sendo estes valores de tempo fornecidos por relógios atómicos perfeitamente sincronizados entre si. Actualmente, o GPS constitui um sistema referencial para a difusão do chamado tempo universal coordenado (TUC).

Os satélites que constituem a constelação de um sistema global de navegação por satélite orbitam em torno da terra, sendo essa órbita descrita segundo as três leis de Kepler que explicam o movimento orbital dos planetas em torno do sol, sendo estas também utilizadas na descrição de órbitas dos satélites artificiais em torno da terra. Estas três leis descritas por Johann Kepler foram enunciadas as duas primeiras em 1609 e a terceira em 1687 (Casaca et al., 2005).

#### - 1ª Lei de Kepler: LEI DAS ÓRBITAS ECLIPTICAS

A órbita de um planeta<sup>29</sup> em torno do Sol<sup>30</sup>, é descrita como uma elipse da qual o centro de massa do Sol é materializado como sendo um dos focos como demonstra a seguinte Figura 6 (Casaca et al., 2005).



**Figura 6 – Primeira Lei de Kepler**  
**Fonte:** [www.cosmoemporugues.blogspot](http://www.cosmoemporugues.blogspot)

<sup>29</sup> Ou um Satélite Artificial Terrestre (SAT).

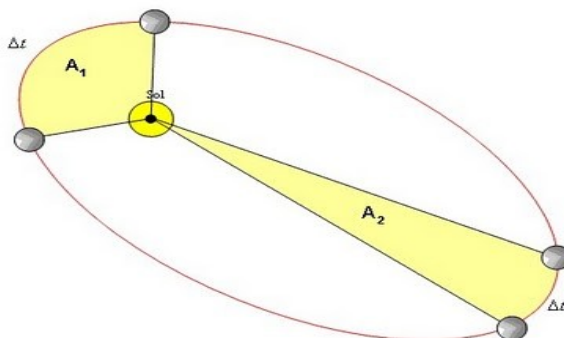
<sup>30</sup> Ou Terra, aplicando as Leis de Kepler aos Satélites.

## - 2ª Lei de Kepler: LEI DAS ÁREAS

A área varrida pelo raio entre um dos focos e dois pontos distintos da órbita descrita por um planeta<sup>31</sup> é proporcional ao intervalo de tempo que o planeta demora no seu percurso entre esses dois mesmos pontos como demonstra a Figura 7 (Casaca et al.,2005):

Para melhor compreensão do conceito, recorre-se às seguintes definições:

- **Afélio:** é o ponto mais afastado do sol, considerando a órbita estabelecida;
- **Periélio:** é o ponto mais perto do sol, considerando a órbita estabelecida.



**Figura 7 – 2ª Lei de Kepler**  
**Fonte:** [www.cosmoemportugues.blogspot](http://www.cosmoemportugues.blogspot)

## - 3ª Lei de Kepler: LEI DOS TEMPOS

Esta lei enuncia a relação entre o tempo e a distância sendo que, quanto mais longe estiver um planeta do sol, mais tempo demorará a efectuar uma translação em torno deste (Casaca et al.,2005).

### III.1.1 – GPS/NAVSTAR<sup>32</sup>

O GPS é um sistema espacial de rádio posicionamento que consiste numa “constelação” de 24 satélites<sup>33</sup> cujo objectivo é fornecer informação de localização e tempo em qualquer instante, em qualquer lugar e em quaisquer condições climáticas para receptores sendo eles militares ou civis (DoAF, 2001).

Os satélites GPS giram em 6 órbitas à volta da terra, efectuando uma volta completa em cada 12 horas aproximadamente, a uma altitude de cerca 20200km e a uma velocidade de aproximadamente 11265 km/h.

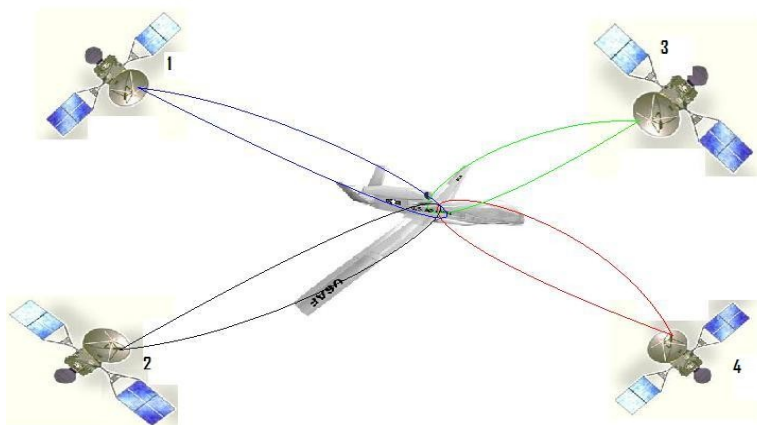
Muito sucintamente, cada satélite possui internamente quatro relógios atómicos que difundem continuamente o tempo preciso, assim como, informação sobre o

<sup>31</sup> Ou um satélite.

<sup>32</sup> GPS/NAVSTAR – Global Positioning System / NAVigation Satellite with Time and Range.

<sup>33</sup> É designado por “constelação” o número necessário de satélites para o funcionamento do GPS, sendo num total de 24, estando 21 activos e 3 em reserva, dados estes até à data de realização deste trabalho.

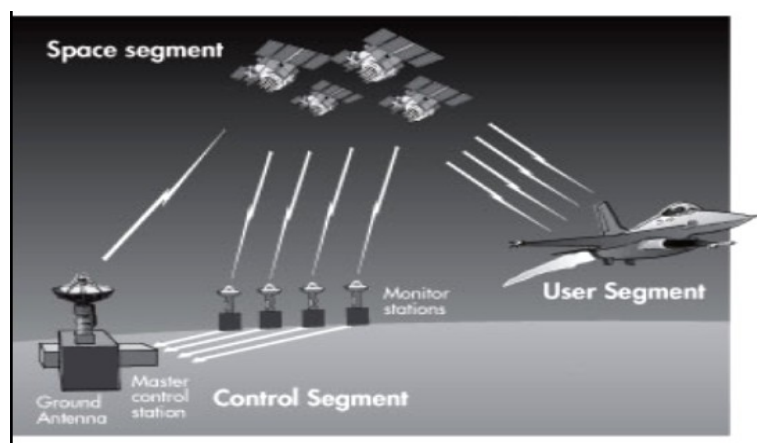
movimento por ele realizado segundo a órbita que descreve para as estações terrestres, que tratam essa informação e posteriormente a difundem de volta ao satélite. Os receptores<sup>34</sup> captam os sinais provenientes dos satélites e calculam a pseudo-distância<sup>35</sup> que se encontra de cada satélite num instante “t”, e a partir desses elementos calcula a sua localização, como descrito na figura 8 (IGeoE, 2000).



**Figura 8 – Forma como é calculada a pseudo-distância a partir de 4 satélites.**

Cada satélite GPS emite em duas frequências sendo L1, de 1575,42MHz (comprimento de onda de 19cm), e na frequência L2, de 1227,60MHz, (comprimento de onda de 24cm). Estas frequências podem ser modeladas por dois tipos de códigos, sendo que o código C/A (*Coarse Aquisition*) modela apenas a frequência L1 e o código P (*Precise*) que modela a frequência L1 e L2 (Matos, 2008).

O sistema GPS divide-se em três componentes que serão descritas de seguida e como ilustra a Figura 9.



**Figura 9 – Ilustração das três componentes constituintes do GPS.**

Fonte: [www.aero.org](http://www.aero.org).

<sup>34</sup> Consultar anexo H.

<sup>35</sup> Cálculo da distância de uma aeronave com o recurso ao “eco” transmitido pelos satélites (DINST, 1993).



- A **componente espacial** que é constituída pela constelação dos 24 satélites que orbitam em torno da terra em 6 planos orbitais distintos e separados entre si por cerca de 60 graus de longitude. Este tipo de disposição no plano espacial permite que sejam permanentemente visíveis pelos receptores no mínimo 4 satélites acima do horizonte em qualquer ponto da superfície terrestre e em qualquer instante (IGeoE, 2000).
- **Componente de controlo** constituída por 5 estações terrestres distribuídas pelo globo e por uma estação de controlo principal *Master Control Station* (MCS), localizada em *Falcon Air Force Base* no Colorado. Este componente tem como função receber os elementos enviados pelos satélites e corrigir as posições orbitais precisas<sup>36</sup> e correcções aos relógios de cada satélite, que à posteriori calculam o “tempo GPS<sup>37</sup>” (IGeoE, 2000).
- **Componente do utilizador** é constituída pelos demais receptores GPS e os demais utilizadores e tem como função receber os sinais e convertê-los em posição estimada (X, Y, Z) para o instante (t) e velocidade sendo necessários pelo menos 4 satélites (IGeoE, 2000).

Estes receptores podendo ser de vários tipos e diferentes formas, e são o interface entre o GPS e o utilizador, no nosso dia-a-dia lidamos com inúmeros destes sistemas, quer seja a bordo do nosso automóvel, no serviço de controlo de tráfego aéreo de um aeroporto, na navegação marítima de navio cruzeiro ou em exercícios de âmbito militar.

Segundo fonte da Força Aérea dos Estados Unidos da América, o GPS actualmente permite:

*“Um serviço mundial, 24 horas por dia  
Informação tridimensional, de alta precisão  
Serviço de velocidade e instante precisos  
Acessível a um elevado número de utilizadores militar e civil”*  
(Fonte: USAF, 2011)<sup>38</sup>

---

<sup>36</sup> Dados orbitais precisos ou como se designam, efemérides.

<sup>37</sup> Difere do Tempo Universal Coordenado (UTC), que tem um ajustamento periódico, enquanto o “tempo GPS” é um tempo contínuo.

<sup>38</sup> Tradução livre, responsabilidade do autor.



### III.1.2 – GALILEO

O Sistema denominado por GALILEO é um sistema de posicionamento global muito semelhante ao GPS dos Estados Unidos da América e o GLONASS da Rússia. Este sistema de posicionamento global é de origem Europeia e encontra-se em desenvolvimento pela Comissão Europeia e pela *European Space Agency* (ESA) contando com a participação da maioria dos países constituintes da União Europeia e alguns da não comunidade Europeia<sup>39</sup>. O GALILEO surge no final dos anos 90 como alternativa ao GPS e ao GLONASS de forma a permitir aos utilizadores Europeus obterem alguma autonomia em relação aos dois sistemas anteriores referidos, que por serem de controlo militar, em caso de conflito mundial, o sinal destes sistemas poderá ser permanentemente desligado causando implicações ao nível de rotas comerciais marítimas, aéreas e terrestres.

Além do GALILEO garantir a independência dos utilizadores face aos sistemas GPS e GLONASS, visará garantir também uma interoperabilidade com os sistemas GPS, uma maior precisão garantindo a cobertura das latitudes polares do globo, uma das lacunas do GPS, sendo que a maior das inovações relativamente ao GPS prende-se no facto deste sistema possuir a função *Search And Rescue* (SAR) em que cada satélite possui um transponder<sup>40</sup> que transmite sinais desde o transmissor do utilizador para o centro de busca e salvamento mais próximo, em tempo real e com uma precisão de localização métrica, o utilizador terá também acesso à informação da localização e tempo de chegada previsto ao local das unidades de salvamento.

O GALILEO possuirá uma constelação de 30 satélites, estando distribuídos por três órbitas, sendo uma delas sob o plano do equador<sup>41</sup> a uma altitude de aproximadamente 23.222 km e as duas restantes ocupando planos inclinados de 56 graus segundo o plano do equador. Este sistema possuirá inicialmente duas estações<sup>42</sup> terrestres de controlo para efectuar correcção à rota dos satélites e acertos nos relógios atómicos.

Actualmente o GALILEO encontra-se numa fase inicial em que, se prevê que no decorrer do presente ano de 2011 seja lançado o último de quatro satélites que irá permitir efectuar uma validação das três órbitas. Segundo fonte ESA, o projecto GALILEO estará totalmente finalizado no ano 2015, com a “constelação” dos 30

---

<sup>39</sup> China.

<sup>40</sup> Dispositivo que inicialmente foi utilizado na aviação (semelhante ao IFF militar), que emite sinais precisos sobre a localização quando “interrogado” por um radar.

<sup>41</sup> Termo do inglês *Medium Earth Orbit* (MEO).

<sup>42</sup> Munique, Alemanha e Fucino, Itália.



satélites em órbita, fornecendo a informação de posicionamento para os utilizadores (ESA, 2011).

### III.1.3 – GLONASS<sup>43</sup>

O GLONASS é um GNSS de origem Russa e controlo militar. Este Sistema teve início nos anos 80 e surgiu como resposta ao GPS dos Estados Unidos, com o objectivo de estar independente desse sistema e também porque o GPS não possuía à data cobertura das regiões polares na Rússia.

Actualmente este sistema encontra-se num processo de actualização e apesar de se encontrar operativo, nunca foi muito apelativo devido às falhas que possui. Com a modernização que sofre, procura ser a resposta aos restantes sistemas globais de posicionamento (GPS, GALILEO), procurando também ser compatível e inter-operável com os demais sistemas, assim como os sistemas de aumentação existentes (Revnivkykh, 2007).

Este sistema é de uso militar e civil, tendo uma arquitectura de 24 satélites, constituindo 3 órbitas distintas a uma altitude de 19100 km, sendo que uma é paralela ao plano do equador e as duas restantes efectuando 120° com esse plano. Tem um segmento de controlo de terra, constituída por 11 estações de controlo distribuídas pelo território Russo, um segmento de lançamento e um segmento do utilizador como descrito no anexo I.

Em consequência do processo de actualização que sofre, está previsto para o corrente ano serem colocados em órbita 3 dos novos satélites que irão melhorar a precisão do sistema, esses satélites irão substituir os satélites mais antigos, denominam-se por GLONASS – K. “Para um melhoramento do sistema GLONASS, confirmo o lançamento dos novos satélites GLONASS – K para o dia 24 de Fevereiro de 2011”, ALEXEI ZOLOTUKHIN, Ministro da Defesa da Rússia em entrevista a SATNEWS, a 11 de Fevereiro de 2011.

## III.2 – SISTEMAS DE AMPLIAÇÃO

Os *Space-Based Augmentation System* (SBAS) são sistemas que auxiliam um GNSS (actualmente o GPS), fornecendo uma maior precisão e a disponibilidade do serviço de navegação (GPS.gov, 2011). Este tipo de sistema começou por ser utilizado inicialmente pela navegação aérea, visto ser necessária uma elevada

---

<sup>43</sup> GLONASS – *GLO*bai'naya *NA*vigatsionnaya *Spun*tnikovaya *Sistema* (Sistema Global de Navegação por Satélite).



precisão nos voos em *Instrument Flight Rules*<sup>44</sup> (IFR), especialmente nas aproximações e aterragens por instrumentos. Os SBAS têm a capacidade de efectuar a cobertura em certas áreas do globo terrestre que o GPS não consegue, assim como obedecer aos critérios impostos pela *International Civil Aviation Association*<sup>45</sup> (ICAO) de interoperabilidade entre sistemas (FAA, 2010). São designados por «Sistemas de Ampliação Regionais» porque cada sistema é responsável por efectuar a cobertura de uma determinada região. De entre os inúmeros sistemas existentes, iremos abordar apenas os três seguintes. O *European Geostationary Navigation Overlay System* (EGNOS), o *Wide Area Augmentation System* (WAAS) e o *Local Area Augmentation System* (LAAS), sendo que os dois primeiros efectuem uma cobertura da Europa e Estados Unidos respectivamente e o terceiro é um sistema de precisão local que garante a precisão necessária para aproximações e aterragens de aeronaves por IFR<sup>46</sup> (Mira, 2009).

### III.2.1 – EGNOS

O EGNOS é o primeiro sistema SBAS Europeu, um projecto conjunto entre a ESA, Comissão Europeia e a Eurocontrol<sup>47</sup>. O EGNOS como SBAS é responsável por fornecer informação mais precisa e constantemente disponível para todos os utilizadores que se encontrem no continente Europeu. Por ser interoperável, consegue funcionar com o GPS, o GLONASS e GALILEO, obtêm constantemente elementos georreferenciados<sup>48</sup> dos satélites desses sistemas (Mira, 2009).

A arquitectura do EGNOS consiste em 3 satélites Geoestacionários (2 inmarsat localizados sobre o Oceano Atlântico Indico) e um Artemis sobre África em 34 Estações de monitorização (RIMS), 4 Centros de controlo (MCC) e 6 up-link stations. (ESA, 2009)

O processo de funcionamento do EGNOS inicia quando as RIMS que monitorizam cada satélite GPS, recebem informação de localização e tempo, de seguida esses elementos são enviados para as MCS onde serão calculadas as correcções para cada satélite. De seguida esses elementos já corrigidos são transmitidos pelas 6 estações terrestres (*uplink stations*) para os satélites geostacionários de forma a serem enviados posteriormente para os utilizadores, como ilustrado na Figura 10.

---

<sup>44</sup> Tipo de voo realizado recorrendo apenas á monitorização dos instrumentos.

<sup>45</sup> Entidade responsável pelo espaço aéreo civil.

<sup>46</sup> *Instrument Flight Rules*, tipo de voo de precisão, recorrendo aos instrumentos de voo (DINST, 1989, p 3-21).

<sup>47</sup> Entidade responsável pelo controlo do espaço aéreo Europeu.

<sup>48</sup> Elementos com localizações precisas.





Figura 10 – Arquitectura do EGNOS.

Fonte: [www2.cnrs.fr](http://www2.cnrs.fr)

### III.2.2 – WAAS

O WAAS é um SBAS, em que o seu objectivo principal é melhorar a precisão, disponibilidade e integridade dos GNSS, tendo como objectivo secundário fornecer a precisão necessária para todas as fases do voo de uma aeronave, incluindo a aproximação e a aterragem em IFR, até antes fornecido exclusivamente pelo *Instrument Landing System* (ILS)<sup>49</sup> (FAA, 2010).

O WAAS é constituído por três segmentos, o espacial constituído por 2 satélites geostacionários, o segmento terrestre constituído por 24 estações terrestres e pelo segmento do utilizador constituído pelos sistemas receptores a bordo das aeronaves (NSTB, 2011), como ilustrado na Figura 11.

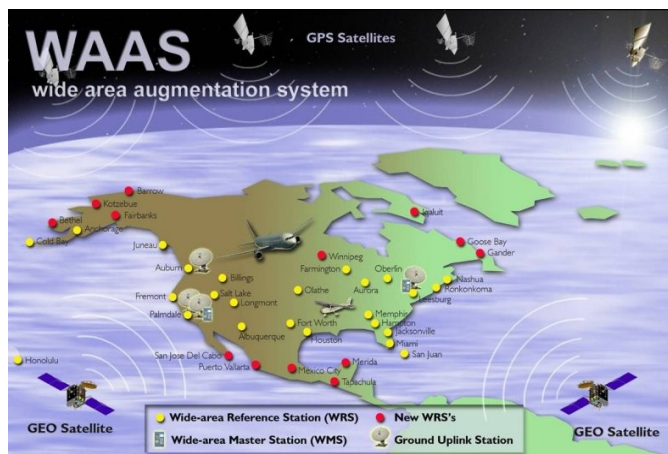


Figura 11 – Funcionamento do WAAS.

Fonte: [www.nstb.tc.faa.gov](http://www.nstb.tc.faa.gov)

<sup>49</sup> ILS – *Instrument Landing System*, sistema de auxílio às aproximações e aterragens de precisão (DINST, 1993). Consultar apêndice 4.

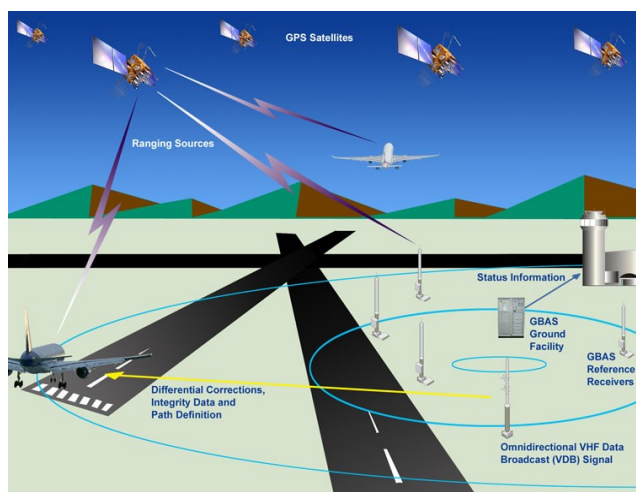




O funcionamento do sistema baseia-se nas *Wide-Area Reference Station* (WRS) que medem as diferenças de tempo e posicionamento e posteriormente transmitem às *Wide-Area Master Station* (WMS). Estas estações corrigem, inserem estes dados e enviam-nos aos satélites geostacionários sendo então transmitidas ao utilizador enquanto elementos corrigidos de localização segundo a figura abaixo descrita. Estas correcções são recebidas com uma periodicidade de cinco segundos (FAA, 2010).

### III.2.3 – LAAS

O LAAS é um sistema de ampliação regional que tem como objectivo principal, fornecer uma maior precisão aos sistemas GNSS necessárias para uma aproximação e aterragem num aeródromo, em quaisquer condições meteorológicas. Este sistema de aumento é composto por quatro “antenas-terra” e por uma estação central (*Ground Station*) que recebe os elementos GPS, calcula os erros e transmite-os novamente às “antenas-terra”. De seguida estas “antenas-terra” enviam os elementos GPS, já corrigidos aos sistemas aviónicos<sup>50</sup> a bordo das aeronaves. O sistema LAAS tem também a capacidade, contrariamente ao GPS, de identificar algum erro associado a um dos satélites da constelação GPS e alterar para outro mais fidedigno, providenciando a integridade necessária de elementos finais fornecidos ao utilizador, como ilustrado na Figura 12 (Mira, 2009).



**Figura 12 – Arquitectura do sistema LAAS.**

Fonte: FAA, 2010.

<sup>50</sup> Designação para os sistemas de controlo, performance e navegação a bordo de uma aeronave (DINST, 1993).



O sistema LAAS é um sistema vocacionado para fornecer dados com a precisão necessária para aproximações e aterragens por instrumentos, sendo a sua missão muito semelhante ao antigo sistema ILS<sup>51</sup>. Este sistema é composto por várias categorias, e por ser um sistema destinado ao tráfego na vizinhança do aeródromo, permitindo uma cobertura com um raio de 23 milhas náuticas (NM)<sup>52</sup>, segundo fonte FAA, 2010.

---

<sup>51</sup> ILS – *Instrument Landing System*, Sistema de aterragem de precisão, constituído por uma antena em terra, que fornece informação ao piloto de distância, altitude e gradiente de descida. Fonte: (DINST, 1993). Consultar apêndice 5.

<sup>52</sup> 23NM ou *Nautical Miles*, raio medido em relação à antena ou *beacon*. O limite vertical pode ser estabelecido até aos 10000ft (ft-pés), segundo site ESA consultado em Fevereiro de 2011.



## **CAPÍTULO IV**

### **MODELOS DIGITAIS DO TERRENO**

“ O IPB<sup>53</sup> é um processo sistemático e contínuo de análise do inimigo, condições meteorológicas e terreno, numa determinada área geográfica”  
(Tradução do FM 34 – 130<sup>54</sup>)

#### **IV – Contextualização**

“A análise do terreno e das condições meteorológicas ajudam a identificar e a caracterizar os aspectos militares da AOp/AOO: Observação e campos de tiro, os Cobertos e abrigos, os Obstáculos ao movimento de forças, os Pontos importantes e os Eixos de aproximação<sup>55</sup>. O terreno inclui as alterações resultantes da acção do homem (cidades, aeroportos, pontes, caminhos de ferro, portos, etc.). As condições meteorológicas e o terreno têm efeitos nas operações terrestres, no emprego de munições de precisão, no apoio aéreo e nos apoios de combate e logístico” (EME, 2006).

O terreno é um factor decisivo no campo de Batalha, quanto mais familiarizado estiver o Comandante da força com o terreno, melhor conseguirá dispor e rentabilizar as suas forças. Num passado recente, o estudo do terreno era realizado recorrendo à cartografia analógica através de cartas topográficas e fotografia aérea, entretanto com a evolução tecnológica ocorrida no século XX passou-se a recorrer à cartografia digital, nomeadamente complementada com modelos digitais do terreno, permitindo-nos obter um estudo do terreno mais rápido, fácil e um acompanhamento em tempo real da evolução do campo de Batalha.

---

<sup>53</sup> Intelligence Preparation of Battlefield.

<sup>54</sup> Tradução livre, responsabilidade do autor.

<sup>55</sup> Sigla OCOPE, em slides de táctica geral e operações militares II, 2007.



#### IV.1 – Modelo Digital do Terreno: Conceito teórico

Os Modelos digitais do Terreno podem ser construídos a partir de diferentes fontes de dados. Essas fontes de dados podem ser obtidas a partir de trabalhos de campo<sup>56</sup>, de digitalização de cartografia e através da fotogrametria<sup>57</sup>.

O Modelo Digital do Terreno<sup>58</sup> é uma representação matemática e numérica do terreno, partindo de um conjunto de pontos dos quais são conhecidas as suas coordenadas (X, Y, Z); É possível determinar a partir dos valores dos pontos já conhecidos das suas coordenadas planimétricas (X, Y), a coordenada altimétrica (Z) para esse ponto de acordo com um determinado método de interpolação assumido para a situação (Lopes, 2000). O rigor de um determinado MDT depende do número de pontos considerados para uma respectiva área, sendo que quanto maior for o número de pontos distribuídos homogeneamente numa respectiva malha, maior será o grau de precisão. Os MDT dependendo da distribuição dos seus pontos podem ser divididos em duas classes, modelo GRID (Grelhas Rectangulares) modelo TIN (Cadeia Irregular de Triângulos) e a conjugação destes dois GRID/TIN (Domingos, 2000):

- **Modelo GRID** consiste numa rede de pontos espaçados uniformemente formando uma rede rectangular, em que a sua precisão depende do número de pontos utilizados. Este modelo é utilizado mais para terreno em que as elevações são mais simples, sendo mais fácil a sua manipulação a nível computacional (Lopes, 2000).

- **Modelo TIN** é constituído por uma amostra de pontos, sendo esta distribuída de forma irregular formando uma rede de triângulos de dimensões variáveis. Este tipo de modelo não proporciona o mesmo tipo de facilidade de manipulação computacional, como o modelo GRID (Lopes, 2000).

- **Modelo TIN/GRID** consiste na aplicação dos dois modelos, dependendo da morfologia do terreno e da precisão pretendida, sendo que o modelo TIN destaca-se por ser um modelo mais rigoroso, utilizado para zonas morfologicamente acidentadas, e o modelo GRID destaca-se por ser um modelo menos preciso, mas mais “fácil” de ser trabalhado informaticamente pelo que é mais utilizado para zonas menos acidentadas morfologicamente (Domingos, 2000).

---

<sup>56</sup> Realizados com recurso a ferramentas analógicas e/ou digitais.

<sup>57</sup> Disciplina que se ocupa da medição, análise e interpretação de fotogramas com vista à determinação da posição e dimensão dos objectos neles representados (Matos, 2005, p.303).

<sup>58</sup> Consultar anexo K.



## **IV.2 – Modelo Digital do Terreno: Erros inerentes**

Os MDT são resultantes de trabalhos de campo realizados por equipas topográficas e medições realizadas pelos Sistemas de Satélites (Gravimetria)<sup>59</sup>. Deste modo, na realização destas medições, são conhecidos alguns erros que poderão vir a dar resultados erráticos na construção de um MDT. Esses erros podem resultar do factor humano, existindo erros de transcrição de resultados, falta de precisão no posicionamento das Estações Base (EB) no vértice de coordenadas conhecidas por parte do operador. Podem existir erros do próprio material, resultantes das calibrações e ajustes dos mesmos e por fim erros resultantes do meio ambiente, já que os sinais calculados pelos satélites têm que atravessar várias camadas da atmosfera, não havendo entre elas uma velocidade de propagação constante (Domingos, 2000).

## **IV.3 – Modelo Digital do Terreno: Aplicações**

As aplicações dos MDT são as mais variadas, quer no contexto militar quer no contexto civil. Com a nova Era da informação e a evolução dos sistemas informáticos, a Cartografia Analógica, constituída pelas cartas topográficas e mapas em formato de papel vieram a cair em desuso, tanto pelos custos inerentes à sua produção, como pela dificuldade de consulta dos mesmos. Com a Cartografia Digital, os trabalhos de campo são mais reduzidos e a informação obtida fica armazenada em base de dados, sendo de seguida tratada por um software informático e posteriormente disponibilizada consoante as necessidades. Das inúmeras aplicações de um MDT destacam-se as de carácter militar, sendo aplicadas nas seguintes situações:

- Forças Armadas: Pelos comandantes no terreno (IPB), Artilharia no posicionamento das Bocas-de-fogo e conhecimento do terreno ocupado pelo IN de forma a ajustar fogo preciso, Força Aérea e os ataques de “altitude baixa” precisos, no planeamento de missões com guiamento autónomo de UAV.
- Geodesia: Ajustamento de redes de gravidade<sup>60</sup>.
- Cartografia: cartas de declives, itinerários, aplicação nos Sistemas de Informação Geográfica, hipsometria.

---

<sup>59</sup> Disciplina das Ciências da Terra, responsável pela medição e estudo do campo gravítico na superfície terrestre. Ver glossário em anexo A.

<sup>60</sup> Gravimetria, consultar glossário em anexo A.



## CAPÍTULO V

### SISTEMAS AÉREOS NÃO TRIPULADOS

#### V.1 – UAV enquadramento geral

A necessidade de produzir informações em tempo real de uma grande variedade de fontes requer a presença de especialistas das informações com Normas de Execução Permanente (NEP) para manuseamento e processamento de informação e Sistemas de Informação e Comunicações (SIC) (CIS – *Communication and Information Systems*). Estes podem estabelecer a ligação às células de informações aos vários escalões de comando a fim de obter informação em tempo real a partir de um UAV. É então necessário integrar equipas de especialistas com equipamento SIC para processamento e exploração da informação. De modo similar, outras origens como a guerra electrónica, artilharia e as unidades de reconhecimento devem possuir sistemas de comunicação robustos e interoperáveis com a célula de informações segundo fonte do PDE – 2 – 00 INFORMAÇÕES, CONTRA-INFORMAÇÃO E SEGURANÇA, 2006.

Os UAV participaram em inúmeros conflitos por todo o globo, sendo que a primeira utilização destes sistemas foi por parte das Forças Armadas Israelitas no conflito *Paz na Galileia* no ano de 1982. Foi então que a partir desse conflito que os UAS sofreram um acentuado desenvolvimento tecnológico, no sentido de aperfeiçoar ao máximo este tipo de sistemas e adaptá-los a um vasto espectro de missões. Desta forma os UAS vieram a assumir uma nova valência no poder aéreo, substituindo as aeronaves convencionais<sup>61</sup> em alguns tipos de missões, possuindo o grande argumento do risco nulo de perda de vidas humanas tripulantes. Devido às suas características estes sistemas são extremamente vocacionados para o desempenho das denominadas missões D3 – *Dull, Dirty and Dangerous*. As *Dull missions* caracterizam-se por missões persistentes de longa duração em que os níveis de tolerância humana sejam limitativos para o cumprimento da mesma, citam-se missões de patrulhamento e vigilância realizadas sem interrupção. As *Dirty missions* caracterizam-se por missões levadas a cabo em ambientes contaminados que possam vir a afectar a tripulação da aeronave, como as operações de monitorização dos níveis

---

<sup>61</sup> Denomina-se neste caso por aeronaves convencionais, todo o tipo de aeronaves que para o cumprimento da missão necessitem de uma tripulação a bordo.



de radiação após um acidente nuclear no Japão. As *Dangerous missions* caracterizam-se por missões em que é expectável um elevado risco para as tripulações das aeronaves, como missões de supressão das Defesas Anti-Aéreas inimigas (Morgado & Sousa, 2009).

### V.1.1 – O conceito UAV

Tendo como base publicação militar, AAP-6 da NATO adoptámos a seguinte definição de **UAV**, Veículo Aéreo Não Tripulado com propulsão, pilotado remotamente ou totalmente autónomo, utilizando forças aerodinâmicas para ter sustentação, sendo recuperável ou não recuperável, podendo transportar um *payload* letal ou não-letal. Por **UAS**, designa-se todo o sistema constituinte necessário para o seu funcionamento, retirando o máximo de rentabilidade da aeronave não tripulada. Um UAS é constituído pelos seguintes componentes:

- **GCS** (*Ground Control Station*) – Estação de Controlo Terrestre, é uma estação terrestre de comando e controlo dos veículos aéreos não tripulados, onde se encontram os operadores de UAV, podendo estar a milhares de quilómetros da plataforma (Valentim & Estriga, 2009).
- **GD** (*Ground Data Terminal*) – Terminal de Dados Terrestre, consiste numa antena de dados terrestre que permite a ligação entre a GCS (Estação de Controlo Terrestre) e o veículo aéreo (Valentim & Estriga, 2009).
- **Payload** – Conjunto de equipamentos a bordo do UAV necessários para cumprir a missão. Estes equipamentos são classificados como sendo letais ou não letais, podendo ser, sistemas ISTAR, armas, sistemas de Guerra Electrónica e sistemas C4I (Valentim & Estriga, 2009).
- **RVT** – (*Remote Video Terminal*) – é utilizado para receber, gravar e visualizar informação recolhida por o UAV num local diferente do lançamento/recolha do veículo. É um sistema portátil, geralmente utilizado nos Postos de Comando (Valentim & Estriga, 2009).

De acordo com *United States Air Force Unmanned Aircraft Systems Flight Plan 2009-2047*, e com o *AJP 2.0*, os UAV s são considerados parte integrante do conceito ISTAR<sup>62</sup> da NATO e a sua utilização não se prende exclusivamente com a pesquisa de informação para apoio à tomada de decisão. Estes sistemas actuam directamente no Teatro de Operações, sendo essenciais na pesquisa de informações para o desenrolar

---

<sup>62</sup> ISTAR - Intelligence, Surveillance, Target Aquisition and Reconnaissance.



das operações, podendo também ser utilizados como meio de combate, efectuando ataques cirúrgicos a zonas críticas, tais como ambiente urbano, reduzindo os efeitos colaterais indesejáveis.

Muitas das soluções para que as comunicações sejam garantidas entre a aeronave e o operador dependem necessariamente de saber onde esta se encontra no espaço e tempo, isto é a sua localização. Actualmente este serviço é executado pelos GNSS. Este sinal de transmissão pode tornar-se relativamente fraco, dependendo da disponibilidade dos satélites para determinada zona, ou pode ser “empastelado”<sup>63</sup>, comprometendo seriamente as operações deste tipo de sistemas.

A classificação deste tipo de sistemas não é consensual, variando de organização, nos critérios que consideram mais importantes para efectuar a distinção entre equipamentos. Para efeitos do presente trabalho, adoptámos a classificação *Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2007-2032* do Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América, descrito na Tabela 1.

Níveis UAS	Atributos dos Actuais Sistemas			
	Velocidade (kts)	Peso (lbs)	Altitude de Operação (ft)	Sistemas em Operação
Nível 0	≤250	≤2	≤1,200	BATCAM, Wasp, Hornet
Nível 1		2 a 20	≤3,000	Raven, BUSTER, Dragon Eye
Nível 2		21 a 1,320	<18,000	Scan Eagle, Killer Bee, Shadow
Nível 3		1,321 a 12,500		Hunter, Dragonfly, Predator
Nível 4	>250	≤12,5		Killer Bee (UAS)
Nível 5	qualquer	>12,5	≥18,000	Reaper, Global Hawk

**Tabela 1 – Nomenclatura e classificação dos sistemas UAV de acordo com a referência *Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2007-2032*, adaptado.**

A presente classificação baseia-se segundo num número de critérios adoptados, sendo estes fundamentais para a categorização dos UAS. Estas seis categorias encontram-se divididas em seis níveis que vão do nível 0 ao nível 5 e caracterizam-se por um conjunto de critérios considerados importantes para o desempenho das suas missões, tais como o alcance máximo, altitude máxima de voo, peso à descolagem e velocidade máxima da plataforma.

<sup>63</sup> É uma das medidas de ataque electrónico, que consiste em reduzir ou impedir o uso efectivo do espectro electromagnético do opositor.





### V.1.2 – Tecnologia

Os sistemas UAV são possuidores de uma tecnologia extremamente avançada que lhes permite efectuar um largo espectro de missões para as quais foram criados e desenvolvidos. Assim, e dependendo da sua categoria, o UAV tem que possuir determinadas características que o tornem um sistema capaz de pesquisar informações no campo de batalha. Para isso está dotado de uma panóplia de tecnologia, de forma a recolher informação e transmiti-la quase em tempo real para a estação receptora, de forma a essa informação ser analisada e posteriormente tratada para que seja útil na tomada de decisão do comandante. Assim possui sensores electro-ópticos, que gravam uma área para o qual foi pré-programado para investigar. Essas imagens recolhidas podem ser enviadas para serem comparadas na *Common Operational Picture* e desta forma ter uma imagem em tempo real, para todas as forças.

Além de fornecer imagens do campo de batalha em tempo real, o UAV confronta-se com outro “problema” que é a própria localização e a localização das imagens que está a adquirir. Esta informação georreferenciada é fornecida pelos sistemas de navegação global por satélite e quando necessário garantir uma maior precisão, caso o UAV se encontre numa zona “escura” radar, teremos uma limitação do próprio sistema de navegação. Esta limitação só pode ser “anulada” caso se obtenha sinal de um dos sistemas de aumento disponíveis. Estes tipos de sistemas contam também com um computador de bordo, que pode ser programável em terra com o chamado “*flight plan*”.

O “*flight plan*” consiste num plano de voo, pré-estabelecido em terra, criado segundo as necessidades e objectivos do comandante da força e depois de descolar e quando atingindo a altitude mínima do plano de voo, o UAV inicia a sua missão, respeitando os “*waypoints*” programados no plano de voo, efectua a missão nas coordenadas estabelecidas e retorna á base, sendo apenas necessário a intervenção humana na aterragem do UAV, isto dependendo do sistema utilizado<sup>64</sup>.

### V.2 – Sistema de controlo de voo autónomo

O Sistema de controlo autónomo veio a aumentar as capacidades dos UAV, retirando o factor fadiga humana do ciclo de operações. Num UAV com este sistema de controlo de voo autónomo, o operador de sistemas não necessita de estar a operar o UAV durante toda a sua missão, já que o seu “*flight plan*” pode ser elaborado e

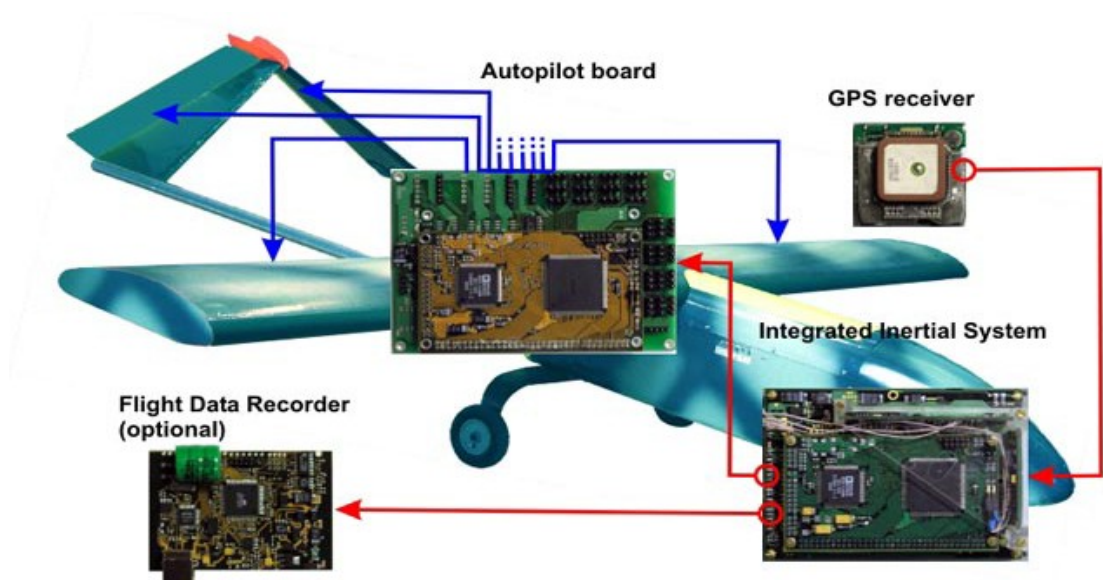
---

<sup>64</sup> Garantido pelo tipo de precisão fornecido pelo sistema em uso (DINST, 1993). Consultar apêndice 4, tabela 2.

descarregado no computador de bordo da aeronave. Este plano de voo, dependendo do sistema electrónico utilizado, pode conter inúmeros “waypoints” podendo estes serem alterados a qualquer altura da missão, ou descarregados novos dados sem que para isso, a aeronave tenha que aterrar para o efeito (*Galaxy Navigation Corporation*, 2011).

Este sistema de controlo de voo autónomo baseia-se numa arquitectura constituída por quatro componentes a seguir descritas e ilustradas na Figura 13:

- Sistema inercial de navegação;
- Computador de bordo com piloto automático;
- Antena receptora de GPS;
- Gravador de dados.



**Figura 13 – Arquitectura do sistema autónomo de voo de um UAV.**

Fonte: [www.galxynav.com](http://www.galxynav.com).

O sistema inercial de navegação garante o conhecimento da atitude do UAV e recebe os dados de posição e tempo da antena receptora de GPS. Ao receber estes dados, o sistema inercial envia-os conjuntamente com os seus dados de atitude da aeronave para o computador de bordo onde está instalado o piloto automático. O computador de bordo recebe estes dados e conjuntamente com os dados do “flight plan”, gravados, compara-os e calcula alterações á rota inicial quando necessário. De seguida, transmite esses comandos para as superfícies de controlo<sup>65</sup> da aeronave.

<sup>65</sup> Ailerons, leme de profundidade/direcção



Este sistema permite também que, quando o UAV se encontra a desempenhar uma missão e aparece um obstáculo não previsto no seu “*flight plan*”, este decida pela melhor opção. Este sistema baseia-se num conjunto de sensores acoplados ao UAV, quando este efectua essencialmente missões ISR<sup>66</sup>.

Estes sensores estão em comunicação contínua com o computador de bordo, comparam e calculam os parâmetros de voo actual, efectuando comparações com os “*waypoints*” efectuados/planeados, efectuando desta forma constantes correcções à rota.

Para que este tipo de sistema garanta a precisão necessária durante o voo do UAV, assim como, a precisão necessária inerente a qualquer missão de ataque com armas letais, possui um conjunto de sistemas que garantam essa precisão e integridade. Para isso, o UAV apoia-se nos sistemas globais de navegação por satélite para orientar a sua rota e a localização dos objectivos a realizar na sua missão. Os sistemas GNSS, aliados aos sistemas de ampliação regionais, garantem a precisão necessária às diferentes missões dos UAV. Além disso, os UAV possuem no seu interior um sistema inercial que lhes permite estar orientado sob um sistema de eixos, permitindo assim, conhecer a atitude de voo, assim como a velocidade linear calculada por GPS, facilitando para tal os cálculos de correcção à rota no computador de bordo do UAV.

Este sistema inercial pode ser constituído por um microprocessador, por um giroscópio e por uma câmara localizada no centro de massa do UAV de forma a garantir que as diferenças de atitude provocadas por uma subida/descida ou volta esquerda/direita, sejam processadas com o mínimo de distorção (Fonte: Zhihai He, 2010).

### V.3 – Imagem Operacional Comum (COP)

*A imagem operacional comum (COP) é um conjunto de imagens de uma Área de Interesse para o comandante da força, com informações compartilhadas de interesse para vários escalões e diferentes tipos de forças.*

Fonte: FM 3-0, cap. 5-80<sup>67</sup>.

A COP facilita a tomada de decisão por parte do Comandante da Força e do seu *staff*, fornecendo informação actualizada sobre o terreno e inimigo. Para a COP todas as Forças no TO contribuem com informações resultantes das pesquisas

---

<sup>66</sup> ISR - *Intelligence Surveillance and Reconnaissance*.

<sup>67</sup> Tradução livre, responsabilidade do autor.



elaboradas. A COP pode ser obtida com vários meios de pesquisa, sendo neste trabalho abordado a resultante dos UAV.

As informações resultantes da COP podem servir para análise dos eixos de aproximação/ataque das forças amigas/inimigas, por comparação de imagens acerca do terreno, comparando as alterações efectuadas a nível de rodados marcados no terreno e avaliação de danos no campo de batalha.

Segundo fonte do Exército dos Estados Unidos da América, os UAS:

- *Efectuam 50% das missões não tripuladas, gastando para tal apenas 10% do orçamento estipulado pelo DoD para essas missões;*
- *Garantem pelos seus meios, a flexibilidade e versatilidade de missões;*

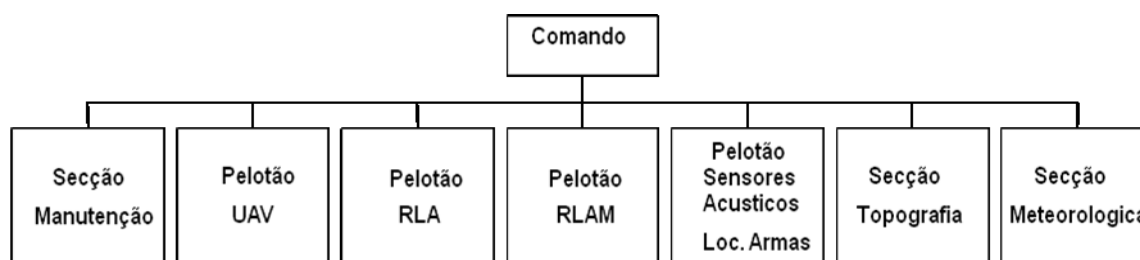
Fonte: [www.ausa.org](http://www.ausa.org)<sup>68</sup>

#### V.4 – Bateria de Aquisição de Objectivos do Exército Português (BAO)

A Lei Programação Militar prevê como um dos objectivos de Força Complementares para o Exército a capacidade ISTAR de acordo com o Quadro Orgânico N.º 24.0.74 de 29 de Julho de 2009.

A BAO garante o aprontamento de módulos da capacidade ISTAR do Exército e o levantamento da Célula de Gestão de Sensores do Batalhão ISTAR.

O Quadro Orgânico N.º 24.0.74 de 29 de Julho de 2009 contempla pela primeira vez no Exército Português a existência de UAV, abaixo descrito.



Q.O. N.º 24.0.74 de 29Jul09

**RLA** – Radar de Localização de Armas.

**RLAM** – Radar de Localização de Alvos Móveis.

<sup>68</sup> Tradução livre responsabilidade do autor.



O pelotão UAV inserido na BAO, tem como função apoiar as três Brigadas do Sistema de Forças Nacional (SFN), uma de cada vez.

**A tipologia de missões** mais vulgarmente desempenhadas pelos UAV, em apoio de uma Brigada, são as seguintes:

- Reconhecimento terrestre: Partilha em tempo real de imagens do terreno (COP), movimentações de unidades amigas e inimigas e respectivos dispositivos;
- Vigilância e gestão do campo de batalha;
- Segurança do perímetro de uma unidade ou ponto crítico;
- *Targeting* com localização e designação de objectivos, nomeadamente em apoio da Artilharia Campanha podendo servir de feixe de guiamento para munições inteligentes ou como observação aérea no tiro de Área;
- No apoio de comunicações com retransmissão de dados e comunicações.

O Pelotão de UAV LAME da BAO tem como Capacidades Específicas, de forma satisfazer os requisitos enunciados nos *Capability Statements das Force Proposals 2008*.

De seguida serão enunciadas as Capacidades Específicas e Genéricas do Pelotão UAV *Low Altitude and Medium Endurance* (LAME) da BAO de forma a uma melhor compreensão da tipologia das missões que estes sistemas poderão desempenhar, são as seguintes:

- Sistema móvel de lançamento e de recuperação;
- Capacidade para localizar, reconhecer, identificar e seguir veículos ou pessoal durante o dia ou noite, processando as imagens e restante informação fornecida pelos sensores da aeronave (ópticos, infra-vermelhos e multi/espectro);
- Capacidade de garantir observação e reconhecimento aéreo contínuo dentro da área de operações de uma Brigada em apoio do sistema de aviso e alerta, elaboração do IPB e relatório de danos. Inclui aquisição e regulação de fogos em 24 horas de operação mantendo um UAS pronto;
- Capacidade para receber informação e operar de acordo com as regras de gestão do espaço aéreo.



O Pelotão de UAV LAME da BAO tem como Capacidades Genéricas as seguintes: Participar em operações conjuntas e combinadas em todo o tipo de condições atmosféricas e de terreno;

- Operar em ambiente de rede digital integrada;
- Actuar integrado num ambiente em rede *NATO Network Enabled Capability (NNEC)*;
- Obter / partilhar informação em “tempo real / próximo do real” que contribua para o *Blue Force Situation Awareness (BFSA)*<sup>69</sup>;
- Partilhar a *Common Operational Picture (COP)*.

## V.5 – PITVANT: O projecto UAV em Portugal

O Projecto de Investigação Tecnológico de Veículos Aéreos Não-Tripulados designado pela sigla PITVANT é uma parceria entre a Academia da Força Aérea e a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto que visa a construção e evolução de sistemas UAV feitos em Portugal. Este projecto teve início em 2005 e até à data conta com cerca de 15 plataformas, de pequena e média dimensão, correspondendo aos níveis 0, 1 e 2 segundo a classificação *Unmanned Systems Roadmap 2007 – 2032*. Esta classificação elabora uma estimativa para o futuro dos UAS em que, cerca de 84% destes sistemas em operação centrar-se-á nos níveis 0, 1 e 2. Estes sistemas encontram-se actualmente totalmente operacionais para operar em condições VFR, sendo que em 2010 foram iniciados os primeiros voos nocturnos, com o objectivo de operar futuramente com um voo totalmente autónomo (Morgado & Sousa, 2009).

*O conceito do “conjunto”, interacção e cooperação entre ramos, vem amenizar as conhecidas fragilidades do poder aéreo, especialmente a de que o poder aéreo não ocupa o terreno.*

TGen. Pilav. Fernando de Sousa Rodrigues, 2009

---

<sup>69</sup> Percepção Situacional das Forças Amigas.



## **CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

### **VI.1 – INTRODUÇÃO**

Depois da contextualização histórica da Geodesia, acompanhando a sua evolução e conceitos até aos dias de hoje, relacionando-a com a sua importância para os UAS torna-se imperioso que se centre nas pesquisas elaboradas e a partir destas se retire as devidas conclusões que nos permitam responder à questão de partida e às questões derivadas, formuladas no início deste TIA.

### **VI.2 – REFLEXÕES FINAIS**

Os Sistemas de Armas de Artilharia para o cumprimento da sua missão necessitam do apoio de vários sistemas de informação que lhes fornecem um apoio topográfico oportuno, preciso e adequado, tanto da sua localização, como da localização das forças amigas e inimigas. Assim, permite ser executado fogo preciso sobre os objectivos, eliminando desta forma riscos de danos colaterais e o fratricídio.

A Geodesia desde os seus antepassados tem como objectivo o estudo de várias problemáticas relacionadas com a referenciação de pontos na superfície terrestre, para isso apoia-se em várias ciências e disciplinas para atingir as respostas/soluções aos problemas que se debate. Actualmente a Geodesia Espacial garante o conhecimento de qualquer posição no globo terrestre com precisão e rapidez, isto sendo possível com o recurso aos mais avançados Sistemas de Posicionamento Globais.

Com os MDT, o Comandante de uma Força tem à sua disposição os produtos de um SIG permitindo então o apoio à decisão no TO. Segundo o Coronel Fernando Soares, o conhecimento detalhado do terreno é de extrema importância para o Comandante da Força pois permite a este prever e antecipar soluções em tempo útil.

A partir destes MDT é efectuado o estudo e o planeamento das missões e aplicado o sistemas de armas que mais se adequa à situação. Para o estudo do terreno pode ser usado o UAV, na pesquisa de informações numa determinada área. Assim o UAV poderá desempenhar uma missão de vigilância transmitindo a COP para as forças na retaguarda em tempo-real, permitindo um melhor conhecimento do





terreno ou disposição e movimentações das forças num TO. Nestas situações o factor tempo é crucial pois, estas tratam com vidas humanas.

Este modo de representar o terreno veio facilitar a consulta de informação, tratamento e análise de dados, substituindo as antigas cartas topográficas, segundo Coronel Fernando Soares em entrevista publicada em apêndice 6.

Os SBAS são sistemas de apoio aos GNSS, fornecendo uma maior precisão, integridade e disponibilidade de elementos de posicionamento e tempo. Estes sistemas efectuem a cobertura de uma determinada região, preenchendo as lacunas dos vários sistemas GNSS em uso, em certas regiões (região polar). Estes sistemas são interoperáveis entre si e com os sistemas GNSS em utilização, permitindo ao utilizador obter informação de navegação de uma região para outra sem que para isso tenha que alterar o sistema de recepção que possui.

O evoluir da tecnologia veio contribuir para o aparecimento de novos sistemas nas FA, assim como a novos tipos de conflito, dando um maior valor à vida humana em combate. O aparecimento dos UAV veio garantir um novo tipo de valência nas diversificadas missões nos mais diversos TO. Vieram também a introduzir uma nova valência no poder aéreo, aeronaves com maior versatilidade e baixos custos, capaz de cumprir as missões desempenhadas pelas aeronaves convencionais e sem que para isso a tripulação destes sistemas corra risco de vida.

Os UAV possuem um grande capacidade de precisão durante as missões que realizam, esta precisão que possuem deve-se à informação de posicionamento permanentemente recebida dos sistemas de navegação por satélite em conjunto com os SBAS de forma a garantir uma maior precisão que a garantida apenas por um sistemas como o GPS. Após esta conclusão genérica do TIA, apresentaremos de seguida a resposta às QD e por fim à questão de partida formuladas no inicio deste trabalho.

### VI.3 – VERIFICAÇÃO DAS HIPÓTESES

Começando por responder à primeira QD, **“Que informações fornece a Geodesia com relevância para as operações militares?”**

A Geodesia fornece a mais diversificada informação georreferenciada de utilidade quer á sociedade civil, quer ao meio militar. No meio militar essa informação é de extrema importância para o planeamento das mais diversificadas missões no TO ou até para o estudo da disposição de forças e movimentações. Esta informação georreferenciada é caracterizada por ser precisa, detalhada e de rápida obtenção e segundo o Coronel Fernando Soares é de extrema importância para o Comandante da





Força ter o conhecimento detalhado do terreno onde dispõem as suas forças, não só no aspecto morfológico mas também na interpretação do mesmo podendo desta forma antecipar soluções para futuros problemas.

Fazendo a ligação com os sistemas em estudo no presente trabalho verifica-se a importância da informação georreferenciada para o cumprimento da missão dos UAS pois, segundo o Tenente Engenheiro Aeronáutico (EngAer) operador de UAV, o controlo de um UAV a bordo é assegurado por um piloto automático que gere a altitude e planos de voo, usando para esse efeito sensores de navegação e apoio ao controlo, sensores de inércia e sensores GPS. Caso exista uma perda de comunicações durante o voo, o UAV tem a capacidade de regressar ao ponto de partida ou a qualquer outro ponto que tenha sido carregado anteriormente no seu computador de bordo, servindo-se para isso do GNSS disponível para efectuar a sua navegação.

Respondendo à QD **Quais as alterações mais significativas resultantes da evolução da Geodesia para a georreferenciação?**

A Geodesia é uma das Ciências base para a navegação, e considerando a evolução dos sistemas de armas com maiores alcances, a técnica tem de acompanhar essa evolução. Segundo o Coronel Fernando Soares, a Topografia é como um caso particular da Geodesia, já que esta primeira trata da localização de pontos a curtas distâncias, sendo que a Geodesia trata com maiores distâncias.

Com o evoluir da Geodesia, modificaram-se os objectivos a que esta se propunha, assim como, as técnicas e os instrumentos de medição. Os sistemas de georreferenciação inicialmente utilizados pela Geodesia, tratavam de uma problemática local possuindo para isso um conjunto de instrumentos para o efeito. Actualmente, com objectivos globais a Geodesia recorreu ao avanço da ciência e à tecnologia de ponta de forma a cumprir a missão que se propunha. Os primeiros estudos geodésicos realizados durante o projecto Vanguard em 1958 permitiram colocar satélites em órbita que permitisse efectuar as medições de distâncias na terra (IGeoE, 2000).

Mais tarde surgiram um conjunto de sistemas, capazes de efectuar a navegação por satélite de um ponto para outro, estando disponível este serviço em qualquer lugar, em qualquer altura e independente das condições atmosféricas (USAF, 2011), bastando para isso possuir um receptor adequado para o efeito.

Verifica-se que tanto os objectivos a que se propunha como os produtos finais da Geodesia clássica foram totalmente alterados, passando então a designar-se por Geodesia espacial.



Respondendo à QD3 **“Que relevância têm os UAS nas FA mundiais?”**

Os UAS possuem uma enorme importância nas FA mundiais, pois este tipo de sistemas permite realizar as missões pré-planeadas num TO sem que para isso seja necessárias quaisquer pausas para descanso do ser humano.

Existe também o factor perda de vida humana que não se verifica neste tipo de sistema, já que o operador de um UAV poderá encontrar-se a quilómetros de distância do local onde esta aeronave se encontra a desempenhar a missão.

Respondendo à QD **“Que vantagens ou limitações poderão trazer os UAV para o Exército Português?”**

Os sistemas UAV vêm a possuir uma enorme importância nas missões de uma Força no TO. Como vantagem verificou-se anteriormente que os UAS são sistemas preponderantes na maioria das Forças Armadas mundiais devido aos à inexistência dos factores cansaço e perdas humana. A sua versatilidade associado ao seu baixo custo de produção e operação fazem concluir que este será sistema influente no Exército Português. Segundo o Coronel Fernando Soares do variado leque de missões a ser desempenhado pelos UAS, refere que este sistema poderá efectuar uma missão já não realizada à muito tempo no Exército Português e fundamental para a Artilharia de Campanha que é a observação e regulação do tiro, operando como um observador aéreo.

Como desvantagem refere-se a actual falta de meios humanos com qualificações técnicas para operação e o “know-how” posterior à formação. O “*know-how*” passando de geração em geração é extremamente importante, visto que o custo de formação de um elemento capaz de operar um sistema UAS, além de dispendioso, demora alguns meses. Desta forma, a formação de pessoal especializado nesta área terá que ser objecto de uma análise cuidada e planeada, garantindo a continuidade dos meios humanos com formação nas unidades que possuam estes sistemas.

Desta forma, no final deste TIA confrontamo-nos com a pergunta de partida inicial: **Qual o contributo da Geodesia para o funcionamento dos sistemas UAV integrados na BAO?** A Geodesia actualmente, é uma ciência importante para qualquer sistema que necessite de qualquer sistema de navegação global por satélite para se posicionar e orientar no terreno. Os UAV sendo um sistema que se pretende rápido e preciso, necessita desses sistemas da navegação global por satélite de forma a garantir essa precisão necessária para o cumprimento das suas missões.

Desta forma a Geodesia é uma ciência com extrema importância para os sistemas UAV da BAO.



#### **VI.4 – RECOMENDAÇÕES PARA INVESTIGAÇÕES FUTURAS**

No final do presente TIA foram atingidas as metas que nos propusemos no início do mesmo. A delimitação do tema, permitiu aprofundar matérias essenciais para responder às questões iniciais.

Verifica-se que a Geodesia fornece resposta a muitas áreas de aplicabilidade militar devido aos novos sistemas de armas possuírem tecnologia que os torna mais eficazes e precisos.

Desta forma e utilizando a Geodesia como ciência de partida para uma futura investigação, propunha-se o estudo dos sistemas globais de navegação por satélite e a sua aplicação nos mísseis de cruzeiro utilizados para ataques a grandes distâncias.



## BIBLIOGRAFIA

### 1. Livros

A.KLEUSBERG, P. (1998). *GPS for Geodesy 2nd Edition*. Alemanha: Springer.

ACADEMIA MILITAR. (1988). *Topografia - I volume*. Lisboa: Academia Militar.

CASACA, J., MATOS, J., BAIO, M. (2005). *Topografia Geral 6ª Edição*, Lisboa: Lidel.

CATALÃO, J. (2000). *Geodesia Física*. Lisboa: Faculdade de Ciências de Lisboa.

DIAS, Tenente-Coronel Carlos Manuel Mendes. (2005). *Geopolítica: Teorização Clássica e Ensinos*, Lisboa: Prefácio.

GASPAR, J. (2008). *Dicionário de Ciências Cartográficas 2ª Edição*, Lisboa: Lidel.

INSTITUTO GEOGRÁFICO DO EXÉRCITO (2000). *Noções Gerais de Geodesia*, Lisboa, Instituto Geográfico do Exército.

MATOS, J. (2008). *Fundamentos de Informação Geográfica 5ª Edição*, Lisboa: Lidel.

RAPP, R. (1984). *Geometric Geodesy: Part I*. EUA: Ohio State University.

SANTOS, General José Alberto Loureiro dos. (2000). *Reflexões sobre Estratégia: Temas de Segurança e Defesa*, Mem-Martins, Europa-América LDA.

VANICEK, P.E. (1986). *Geodesy: The Concepts*. Holanda: North-Holland Editors.

UNITED STATES AIR FORCE (2001). *Air Navigation*. Los Angeles: USAF Headquarters.

W.A.HEISKANEN, M. (1967). *Physical Geodesy*. EUA: Freeman Editors.

### 2. Relatórios



DOMINGOS, P. J. (2000). *Modelos Digitais do Terreno*. Lisboa: Instituto Geográfico do Exército.

LOPES, António Travanca. (2000). *Modelos Digitais do Terreno*. Lisboa: Instituto Geográfico do Exército.

### **3. Publicações Periódicas**

COMBINADAS, C. C. (2011). *Sistemas Aéreos Não Tripulados: Qualidade e não apenas Quantidade*. Military Review, Jan-Fev 2011 , 11-22.

MIRA, C. N. (2009). *Ampliações Regionais do GPS*. Boletim do Instituto Geográfico do Exército nº72, 38-51

MORGADO, Tenente-Coronel José, & SOUSA, Doutor João Tasso de, (2009). *PITVANT*. Cadernos do Instituto da Defesa Nacional, Nº4, II Série , 9-24.

OLIVEIRA, Tenente-Coronel Artilharia Luis (2010). *Os UAV e o seu papel na aquisição de objectivos*. Boletim da Escola Prática de Artilharia, ano X, II Série, 47-60.

RODRIGUES, Tenente General Fernando de Sousa (2009). *Poder Aéreo na Transformação da Defesa*. Cadernos do Instituto da Defesa Nacional, Nº4, II Série, 1-8.

VALENTIM, Tenente-Coronel Artilharia Carlos, & ESTRIGA, Major Artilharia Hélder. (2009). *Os UAV e o seu Papel na Aquisição de Objectivos*. Boletim da Escola Prática de Artilharia, Ano X, II Série, 61-71.

### **4. Documentos não publicados**

AIRFORCE, U. S. (2009). *Unmanned Aircraft Systems Flight Plan*. Washington DC: Headquarters, United States Air Force.

ARMY, U. (2008). *Field Manual*. Headquarters Department Of Army.

DINST. (1989). *Manual de Legislação Aérea para Pilotos*. Direcção de Instrução.



DINST. (1993). *Manual de Teoria de Instrumentos e Planeamento*. Direcção de Instrução.

EME. (2006). *PDE – 2 – 00 Informações, Contra-Inteligência e Segurança*. Lisboa.

EME. (2006). *PDE – 5 – 00 Planeamento Tático e Tomada de Decisão*. Lisboa.

MENDES, V.B. (2005) *Tópicos de Geodesia Espacial*. Texto não publicado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

NATO (2010). *AAP-6*. NATO Standardization Agency.

NATO, AJP 2.0. (2002). *Allied Joint Intelligence Counter Intelligence and Security*. NATO Standardization Agency.

REVNIVYKH, S.G. (2007) “*GLONASS Status, Development and Application*,” International Committee on Global Navigation Satellite System (ICG) Second meeting, September 4-7, 2007, Bangalore, India.

TEKNOL, L. (2010). *UAV Flight Control System*. Moscow, Russia.

U.S. DOD. (2007). *Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2007 – 2032*. USA.

ZHIHAI HE, R. V. (2010). *Vision-Based UAV Flight Control and Obstacle Avoidance*. Texas.

## 5. Documentos Electrónicos

AUSA (2011). Acedido em 02 de Fevereiro de 2011, em <http://www.ausa.org>

GPS.GOV (2011). Acedido a 18 de Fevereiro de 2011, em <http://www.gps.gov>

INSTITUTO CAMÕES (2010). *Gago Coutinho 1869-1959*. Acedido em 18 de Fevereiro de 2010, em <http://www.cvc.instituto-camoes.pt/ciencia/p25.html>



INTERNATIONAL ASSOCIATION OF GEODESY (2011). Acedido em 10 de Janeiro de 2011, em <http://www.iag-aig.org/>

O'GRADY, P. (2004). *Thales de Mileto*, *Internet Encyclopedia of Philosophy*, Acedido em 5 de Março de 2011, em <http://www.iep.utm.edu/thales/>

SATNEWS (2011). *Lançamento de Satélites GLONASS – K*. Acedido a 11 de Fevereiro de 2011, em <http://www.satnews.com>

USAF (2011). Acedido em 16 de Fevereiro de 2011, em <http://www.losangeles.af.mil/library/factsheet.asp?id=5311>

## **6. Diapositivos**

MORGADO, J. (2009) *Projecto de Investigação Tecnológico de Veículos Aéreos Não Tripulados*, Academia da Força Aérea, 45 Diapositivos.

VASCONCELOS, M. (2009) *Sistemas Geodésicos de Referência*, Instituto Geográfico Português, 110 Diapositivos.



## **Anexos**





## **Anexo A – Glossário**

### **Achatamento**

Quando numa elipse pela razão  $f=(a-b)/a$ , sendo que  $a$  e  $b$  são, respectivamente, as medidas dos semieixos maior e menor. A variação dos semieixos toma os valores entre 0 (quando  $a=b$ ) e 1 (quando  $b=0$ ) (Gaspar, 2008).

### **Altímetro**

Instrumento destinado à medição da diferença de altitude entre dois pontos, sendo que nos altímetros barométricos essa medição é feita com base na diferença de pressão atmosférica nesses dois pontos. Já nos radar-altímetros essa medição é feita a partir da diferença de emissão de um impulso e o seu respectivo eco (Gaspar, 2008).

### **Altitude**

É a distância medida na vertical entre dois pontos tomada como referência, geralmente o nível médio do mar (Gaspar, 2008).

### **Altitude geodésica**

É a distância medida na vertical entre um ponto e a superfície de referência geodésica (Gaspar, 2008).

### **Altitude ortométrica**

Distância vertical entre um ponto e o geóide, medida ao longo de fio-de-prumo. Por razões de conveniência prática, é a modalidade de altitude utilizada em cartografia, dado o facto de o geóide coincidir aproximadamente com o nível médio do mar. Uma vez que as superfícies equipotenciais do campo gravítico (superfícies de nível) não são necessariamente paralelas entre si, lugares situados sobre a mesma superfície de nível podem ter altitudes ortométricas diferentes (Gaspar, 2008).

### **Altitude verdadeira**

Equivalente à altitude ortométrica, sendo utilizada em navegação aérea como a distância vertical entre a aeronave e o nível médio do mar (Gaspar, 2008).

### **Altura geoidal**



É a distância vertical, ao longo do fio-de-prumo entre o geóide e o elipsóide de referência num determinado ponto. A designação alternativa é ondulação do geóide. (Gaspar, 2008).

### **Apogeu**

É o ponto mais afastado da órbita da Lua, ou de um satélite da Terra, diametralmente oposto ao perigeu. (Gaspar, 2008).

### **Associação Internacional de Geodesia (AIG)**

A AIG é uma das sete associações pertencentes à União Internacional de Geodesia e Geofísica. Os seus interesses incluem o estudo da forma, movimento de rotação e gravidade da Terra, bem como outros planetas e satélites. (Gaspar, 2008).

### **Cadastro**

Inventário oficial da propriedade rural ou urbana, que inclui os seus limites, área, valor e proprietários. O cadastro nasceu com propósitos fiscais, também constituindo um importante instrumento de ordenamento do território. (Gaspar, 2008).

### **Carta**

Representação gráfica simbólica, geralmente plana, da superfície da Terra ou de outro corpo celeste, e dos fenómenos aí localizados. (Gaspar, 2008).

### **Carta aeronáutica**

Carta essencialmente concebida para apoiar a navegação aérea. Há diversos tipos de cartas aeronáuticas, de acordo com a velocidade e altitude das aeronaves, o tipo de navegação praticada (visual ou por instrumentos), a região que é sobrevoada e a fase da viagem. (Gaspar, 2008).

### **Carta de aproximação por instrumentos**

Carta aeronáutica destinada a apoiar a aproximação a uma aeródromo, quando se navega por instrumentos (Gaspar, 2008).

### **Carta topográfica**

Carta que representa, tão fiel e pormenorizadamente quanto a escala permite, a topografia da superfície terrestre (Gaspar, 2008).



### **Cartografia**

Ciência que trata da concepção, produção, difusão, utilização e estudo das cartas. (Gaspar, 2008).

### **Cartografia digital**

Ramo da Cartografia que trata das cartas digitais (Gaspar, 2008).

### **Cartografia espacial**

Ramo da Cartografia que trata da representação do espaço interstelar e interplanetário (Gaspar, 2008).

### **Coordenadas, sistema de**

Forma de referenciar, sem ambiguidade, a posição de um ponto no plano, no espaço tridimensional ou sobre uma superfície, através de ângulos e distâncias, medidos a partir de referências determinadas. (Gaspar, 2008).

### **Cota**

Distância vertical, à superfície da Terra, entre um ponto e um nível arbitrário tomado como referência (Gaspar, 2008).

### **Cota ortométrica**

Cota definida ao longo da linha de fio-de-prumo, o mesmo que desnível ortométrico (Gaspar, 2008).

### **Crusta terrestre**

A camada superior da litosfera, constituída por rochas consolidadas ricas em sílica, menos densas que o material do manto (Gaspar, 2008).

### **Curva de nível**

Linha que une pontos de igual altitude, representada por uma carta ou prancheta (Gaspar, 2008).

### **Dados espaciais**

Dados relativos à localização, forma e relações entre objectos referenciados num sistema de coordenadas tridimensional (Gaspar, 2008).



### **Dados geográficos**

Dados relativos à superfície da Terra e aos fenómenos que a ocupam. Os dados geográficos são um subconjunto dos dados espaciais (Gaspar, 2008).

### **Datum**

Em Geodesia, o conjunto de parâmetros que constituem referência de um sistema de coordenadas geográficas ou altimétricas. No primeiro caso trata-se de um datum geodésico e no segundo, de um datum altimétrico. (Gaspar, 2008).

### **Detecção remota**

Conjunto de técnicas de aquisição de dados, baseadas na utilização de sensores instalados em aeronaves ou satélites. (Gaspar, 2008).

### **Distanciómetro**

Instrumento destinado à determinação de distâncias no terreno, utilizado em levantamentos geodésicos e topográficos e em agrimensura. (Gaspar, 2008).

### **Efemérides**

Tabela que fornece as posições dos astros na esfera celeste e outra informação sobre fenómenos astronómicos, tal como eclipses, crepúsculos, ao longo de um determinado período. (Gaspar, 2008).

### **Elipsóide de referência**

Elipsóide utilizado como superfície de referência geodésica. (Gaspar, 2008).

### **Elipsóide de revolução**

Figura formada pela revolução de uma elipse em torno de um eixo menor, utilizado como superfície de referência geodésica. (Gaspar, 2008).

### **Excentricidade**

Quantidade ( $e$ ) que mede a diferença entre uma elipse e um círculo, expressa pela expressão  $e^2 = a^2 - b^2 / a^2$ , em que **a** e **b** são, respectivamente, os semieixos maior e menor da elipse (Gaspar, 2008).

### **Gravimetria**

Ramo da Geodesia que se ocupa do estudo e medição do campo gravítico da Terra. (Gaspar, 2008).



### **Informação georreferenciada**

Informação de qualquer natureza, gráfica ou alfanumérica, à qual está associada uma ou mais posições geográficas. (Gaspar, 2008).

### **Levantamento**

Operação de aquisição de dados físicos, químicos, geológicos, humanos ou outros. Os levantamentos podem ser classificados de acordo com a finalidade, com a natureza dos dados adquiridos, com os métodos utilizados na sua aquisição, ou com quaisquer outros critérios. (Gaspar, 2008).

### **Marégrafo**

Instrumento destinado a medir e registar a variação da altura da maré no local onde é instalado. Os dados dos marégrafos são utilizados para apoiar levantamentos hidrográficos, na previsão da altura da maré, e ainda, para estudos no âmbito da Geodesia e Geofísica. (Gaspar, 2008).

### **Posicionamento**

Em Geodesia, topografia e navegação, o conjunto de métodos e técnicas utilizados na determinação da posição à superfície da Terra, ou perto desta. (Gaspar, 2008).

### **Prumo**

Dispositivo óptico ou mecânico que fornece uma referência da vertical em alguns instrumentos empregues em topografia. (Gaspar, 2008).

### **Rede geodésica**

Conjunto de pontos distribuídos de forma homogénea numa região formando uma malha triangular, cujas posições relativas e coordenadas geográficas, referidas ao elipsóide de referência, são conhecidas com grande exactidão. (Gaspar, 2008).

### **Rede triangular irregular (TIN)**

Tipo de modelo digital do terreno em que os valores de altitude, ou de profundidade, se dispõem segundo uma malha triangular. A geometria dessa malha pode ser o simples reflexo dos locais onde os valores medidos ou, por outro lado, ser escolhida o modo a otimizar a representação de zonas complexas ou de descontinuidades no terreno. (Gaspar, 2008).



### **Sistema de navegação inercial**

Equipamento automático de navegação estimada que utiliza um conjunto de giroscópios e acelerómetros para medir acelerações sofridas pelo navio ou aeronave e determinar, através de um processo de integração, a componente horizontal do seu movimento. Os sistemas inerciais têm de ser periodicamente corrigidos com base na posição conhecida, dado o facto de os erros serem cumulativos. (Gaspar, 2008).

### **Sistema de posicionamento**

Conjunto coerente de equipamentos, instalações e procedimentos expressamente concebidos para a determinação da posição geográfica, no mar, no ar ou em terra. Alguns sistemas de posicionamento, como o GPS, são também sistemas de navegação. Outros, como o GPS geodésico e o Polarfix, foram concebidos para trabalhos no âmbito da Geodesia, Topografia e Hidrografia, não se adequando à navegação. (Gaspar, 2008).

### **Sistema de referenciação**

Sistema concebido para localizar e designar áreas e posições à superfície da Terra. Inclui as grades, cartesianas e geográficas e os sistemas de coordenadas geográficas. (Gaspar, 2008).

### **Superfície de nível**

Superfície equipotencial do campo gravítico. Em cada superfície de nível, o vector gravidade é-lhe perpendicular e tem magnitude constante. (Gaspar, 2008).

### **Superfície de referência**

Superfície teórica destinada a servir de modelo à superfície da Terra. São utilizados o plano, a esfera e o elipsóide de revolução. Conforme a sua finalidade, assim se podem considerar as suas superfícies de referência **geodésicas** e **cartográficas**. (Gaspar, 2008).

### **TACAN**

Sistema aeronáutico de radioposicionamento que fornece o azimuth e distância da aeronave a estações colocadas em terra. (Gaspar, 2008).

### **Vértice geodésico**

Materialização, sobre o terreno, de um ponto da rede geodésica. Em Portugal, os vértices geodésicos são, em geral, construções em alvenaria de forma piramidal



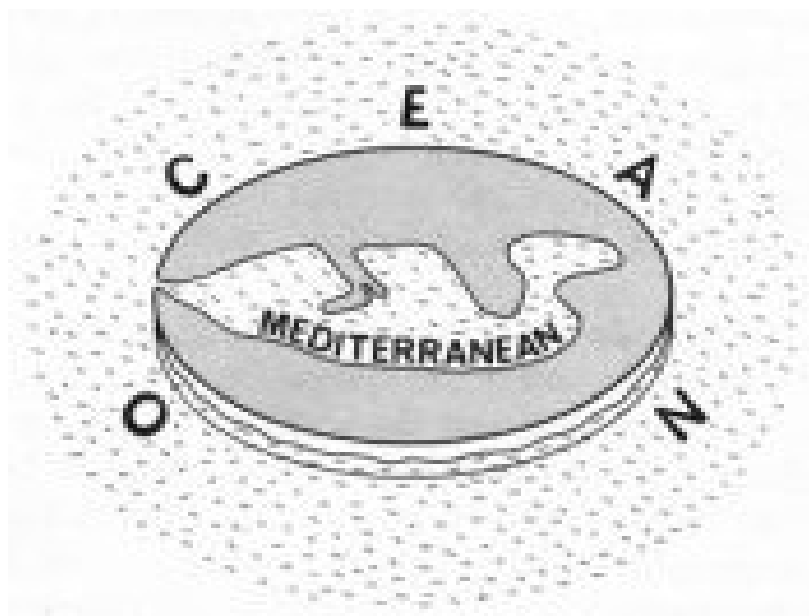
(vértices de 1ª ordem) ou de tronco de cone (vértices de 2ª e 3ª ordem), podendo, em casos particulares, ter outras formas. (Gaspar, 2008).

### **World Geodetic System (WGS)**

Sistema de referência geodésica global utilizado em sistemas de posicionamento, como o GPS. O WGS84 é a sua versão mais recente (Gaspar, 2008).



## Anexo B – Forma da Terra



**Figura 14 – Forma da Terra por Thales Mileto**

Fonte: Apontamentos da FCUL IG02, 2010.





## Anexo C – Imagem de um distanciómetro analógico e digital.



**Figura 15 – Distânciómetro analógico**  
Fonte: [www.factorrelevante.pt](http://www.factorrelevante.pt)



**Figura 16 – Distânciómetro Digital acoplado a um Teodolito**  
Fonte: [www.mrtools.com.pt](http://www.mrtools.com.pt).



## Anexo D – Bússola magnética



**Figura 17 – Bússola Magnética**

Fonte: [www.123rf.com](http://www.123rf.com) a 18 de Janeiro de 2011.



## Anexo E – Cristóvão Colombo



**Figura 18 – Cristóvão Colombo**

Fonte: [www.consciencia.org](http://www.consciencia.org) em 15 de Janeiro de 2011.



## Anexo F – Ordem do Exército nº2 de 7 de Janeiro de 1850

N.º 2.

*Quartel General no Paço das Necessidades, em 7 de Janeiro de 1850.*

### ORDEM DO EXERCITO.

**SUA Magestade EL-REI**, como Commandante em Chefe do Exercito, Manda publicar o seguinte:

#### RELATORIO.

SENHORA! A Geodesia, Geographia, Topographia, Cadastro, e Estatistica de um paiz, são objectos tão absoluta e reconhecidamente indispensaveis para a sua boa governação, que escusado é demorar em o fazer sentir. Os conhecimentos e operações que se comprehendem debaixo destes nomes tem tantas relações, e tão naturaes ellas são que evidentemente se reconhece, que a concentração dos resultados de seus respectivos trabalhos, necessariamente deve prestar até certo ponto um poderoso auxilio á organização systematica dos mesmos trabalhos. — Das Repartições existentes, a que melhor pôde corresponder a este fim, sendo mais bem organizada, é sem duvida o Archivo Militar, o qual pôde satisfazer não só aos mencionados trabalhos, mas até deve concorrer para o aperfeiçoamento e melhoramento da Arma de Engenharia, e do Corpo do Estado Maior, que alli encontrarão um Deposito de Memorias, Mapas, e Plantas, um Museu de Modêlos de Fortificação, Machinas, e Ferramentas, um Gabinete de Instrumentos Topographicos, e, finalmente, uma Bibliotheca. — Os Officiaes de Engenharia, e do Estado Maior, sendo as Classes para as quaes se exigem conhecimentos quasi completos das sciencias mathematicas naturaes, e suas applicações, são, por consequencia, pela natureza dos seus estudos e praticas de serviço, os que mais se acham em circumstancias de desempenhar satisfactoriamente os trabalhos acima referidos. — Taes são as considerações principaes que convenceram o Governo da necessidade de apresentar á approvação de VOSSA Magestade as disposições contidas no seguinte Projecto de Decreto. Secretaria de Estado dos Negocios da Guerra, em 28 de Dezembro de 1849. = *Conde de Thomar.* = *Felix Pereira de Magalhães* = *Antonio José d'Avila* = *Conde do Tojal* = *Fisconde de Castilhões* = *Adriano Mauricio Guilherme Ferreri.*

Figura 19 – Ordem do Exército nº7

Fonte: Academia Militar, 1988



## **Anexo G – Marégrafo de Cascais**



**Figura 20 – Marégrafo de Cascais**

Fonte: [www.cm-cascais.pt](http://www.cm-cascais.pt) em 20 de Maio de 2011.





## Anexo H – Vários tipos de receptores de GNSS

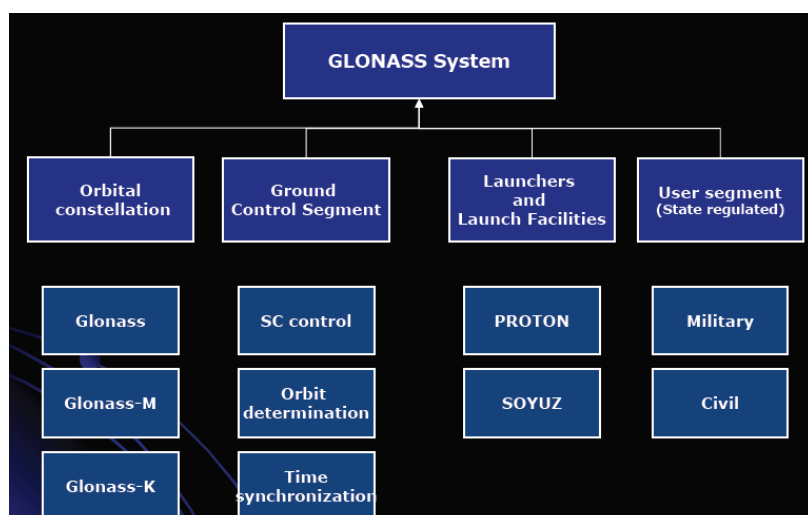


**Figura 21 – Receptores Garmin Oregon 450 / Navigator 300**

Fonte: [www.garmin.pt](http://www.garmin.pt) a 24 de Maio de 2011.



## Anexo I – Arquitectura do GLONASS

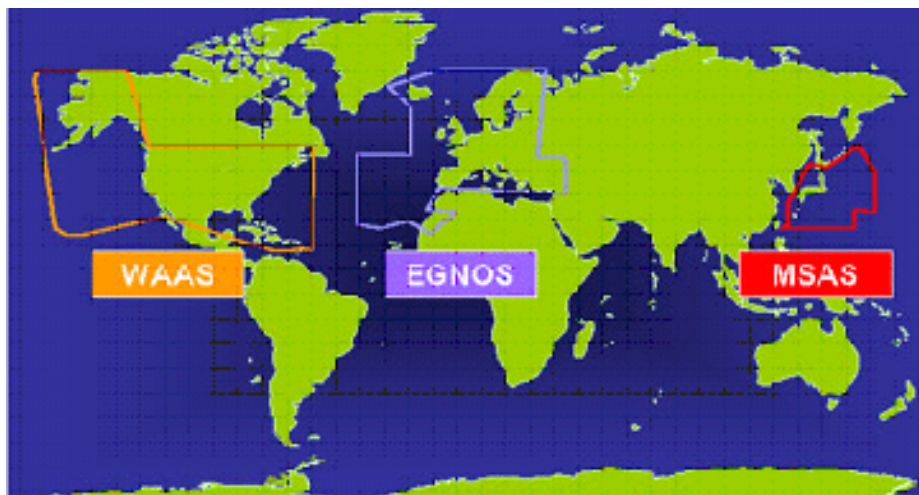


**Figura 22 – Sistema GLONASS**

Fonte: Sergey G. Revnivkykh, 47-th CGSIC Meeting, GLONASS Status and Progress, Forth Worth, Texas, Sep.2007



## Anexo J – Cobertura da Europa e EUA pelos SBAS



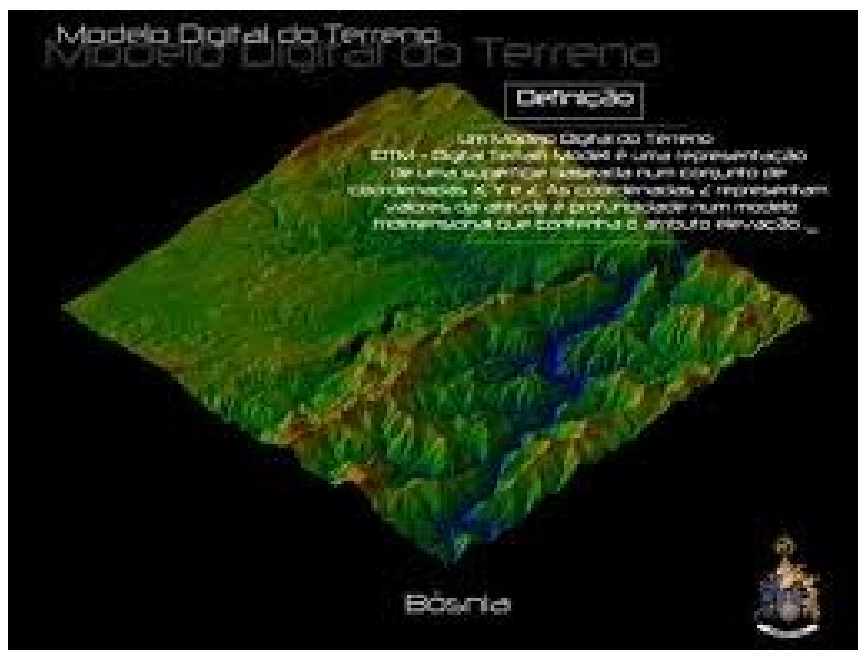
**Figura 23 – Cobertura WAAS, EGNOS e MSAS**

Fonte: [www.vanagt.com](http://www.vanagt.com) em 22 de Março de 2011





## Anexo K – Exemplo de um Modelo Digital do Terreno



**Figura 24 – Modelo Digital do Terreno**

Fonte: [www.igeoe.pt](http://www.igeoe.pt)



## Anexo L – Capacidades ISTAR

### Capabilities/Statements: Land Forces ISTAR

5.1. N/A

#### ***ISTAR-UAV-LAME/PLT ISTAR UAV (Low Altitude Medium Endurance) Plt***

##### **Capability Statements:**

1. Capable of mobile launch and recovery to support manoeuvre forces.
2. Capable of cueing and being cued by other collection means.
3. Capable of disseminating in a timely, secure and robust manner collected imagery, data, information and intelligence products to users (including air and maritime when required) in the appropriate form.
4. Capable of location, recognition, identification and tracking of vehicles and personnel by day or night through the processing and exploitation of imagery and supporting data provided by air vehicle sensors (optical, infra-red and multi/hyper-spectral).
5. Capable of integration into the ISTAR system.
6. Capable of integration into the wider JISR system.
7. Capable of providing persistent airborne surveillance and reconnaissance within a Brigade Area of Intelligence Responsibility in support of situation awareness, intelligence preparation of the battlespace, and damage assessment. This includes support to targeting and target acquisition, 24 hour operation and 1 vehicle maintained on station.
8. Capable of receiving information and operating in accordance with the airspace control order when appropriate.
9. Capable of operating without support or replenishment for 3 days.
10. Capable of providing an appropriate level of CBRN Force Protection for all organic personnel and equipment.
11. Capable of providing an appropriate level of force protection (Remote Controlled Improvised Explosive Devices (RCIED)) for all organic personnel and equipment.
12. Capable of providing an appropriate level of force protection (conventional military threat) for all organic personnel and equipment.

##### **Structural Elements:**

1. EQUIPMENTS
  - 1.1. 2 Phoenix UAV and associated control, processing and exploitation facilities
2. C2
  - 2.1. N/A
3. CSS UNITS
  - 3.1. N/A
4. PERSONNEL
  - 4.1. a minimum of 30 personnel
5. UNITS
  - 5.1. N/A

#### ***ISTAR-UAV-MALE/COY ISTAR UAV (Medium Altitude Long Endurance) Coy***

##### **Capability Statements:**

1. Capable of mobile launch and recovery to support manoeuvre forces.
2. Capable of cueing and being cued by other collection means.
3. Capable of disseminating in a timely, secure and robust manner collected imagery, data, information and intelligence products to users (including air and maritime when required) in the appropriate form.
4. Capable of location, recognition, identification and tracking of vehicles and personnel by day or night through the processing and exploitation of imagery and supporting data provided by air vehicle sensors (optical, infra-red and multi/hyper-spectral).

**NATO UNCLASSIFIED RELEASABLE TO EU**



**NATO UNCLASSIFIED RELEASABLE TO EU**

**Capabilities/Statements:**

**Land Forces**

**ISTAR**

5. Capable of location, recognition, identification and tracking of vehicles and personnel by day or night through the processing and exploitation of imagery and supporting data provided by air vehicle sensors (Synthetic Aperture Radar, Ground Moving Target Indicator Radar).
6. Capable of integration into the ISTAR system.
7. Capable of integration into the wider JISR system.
8. Capable of providing persistent airborne surveillance and reconnaissance within a Corps Area of Intelligence Responsibility in support of situation awareness, intelligence preparation of the battlespace, and damage assessment. This includes support to targeting and target acquisition, 24-hour operation and 1 vehicle maintained on station.
9. Capable of receiving information and operating in accordance with the airspace control order when appropriate.
10. Capable of operating without support or replenishment for 3 days
11. Capable of providing an appropriate level of CBRN Force Protection for all organic personnel and equipment.
12. Capable of providing an appropriate level of force protection (Remote Controlled Improvised Explosive Devices (RCIED)) for all organic personnel and equipment.

**Structural Elements:**

1. EQUIPMENTS

- 1.1. 3 HUNTER and associated control, processing and exploitation facilities

2. C2

- 2.1. N/A

3. CSS UNITS

- 3.1. N/A

4. PERSONNEL

- 4.1. a minimum of 100 personnel

5. UNITS

- 5.1. N/A

**NATO UNCLASSIFIED RELEASABLE TO EU**



## **Apêndices**



## Apêndice 1 – Gago Coutinho



**Figura 25 – Gago Coutinho**

Fonte: [www.clubedehistoria.blogspot.pt](http://www.clubedehistoria.blogspot.pt) em 14 de Fevereiro de 2011.



## **Apêndice 2 – Sextante ou “Astrolábio de Precisão” de Gago Coutinho**



**Figura 26 – Sextante de Gago Coutinho**

Fonte: Instituto Camões a 12 de Fevereiro de 2011.

### **Sextante**

Instrumento óptico destinado a medir ângulos verticais e horizontais, em especial as alturas dos astros. É dotado de um limbo com 60° de extensão angular, graduado de 0° a 120°, onde corre uma alidade destinada a apontar o instrumento e a efectuar a leitura. Um sistema de dupla reflexão, formado por dois espelhos, permite levar à coincidência as imagens do horizonte visual e do astro observado.

### Apêndice 3 – Teodolito digital



**Figura 27 – Teodolito Digital**

Fonte: [www.geosystems.pt](http://www.geosystems.pt) a 18 de Fevereiro de 2011.

#### **Teodolito**

Instrumento utilizado em topografia para a medição de ângulos azimutais e zenitais. É constituído por uma base, na qual está fixado o eixo principal do instrumento, em torno do qual roda a alidade (corpo do teodolito). Perpendicularmente ao eixo principal, está montada uma luneta, que pode rodar no plano vertical. Feita a pontaria para um objecto, as leituras de um ângulo horizontal (relativas a uma origem arbitrária) e o ângulo zenital (relativas ao zénite do instrumento) podem ser lidas nos limbos graduados, horizontal e vertical. Nos teodolitos modernos, as leituras são registadas automaticamente, em formato digital, nas chamadas **cadernetas electrónicas**.





## Apêndice 4 – Exemplo de um ILS



Figura 28 – Antenas ILS, aeroporto de Zurique, Suíça

Fonte: [www.skyguide.ch](http://www.skyguide.ch)

Category	Minimum DH	Minimum RVR	Remarks
I	200 feet	2 400 feet	
I	200 feet	1 800 feet	With touchdown zone and runway centerline lighting .
II	100 feet	1200 feet	Half the minimums of a standard Cat I approach
IIIa	100 feet	700 feet	
IIIb	50 feet	150 to 700 feet	
IIIc	No DH	No RVR limitation	Pray that your electronics and autopilot are accurate and reliable.

Tabela 2 – Categorias ILS

Fonte: Aeronautical Information Manual, *A/M*, FAA.gov





## Apêndice 5 – Exemplo de um ILS

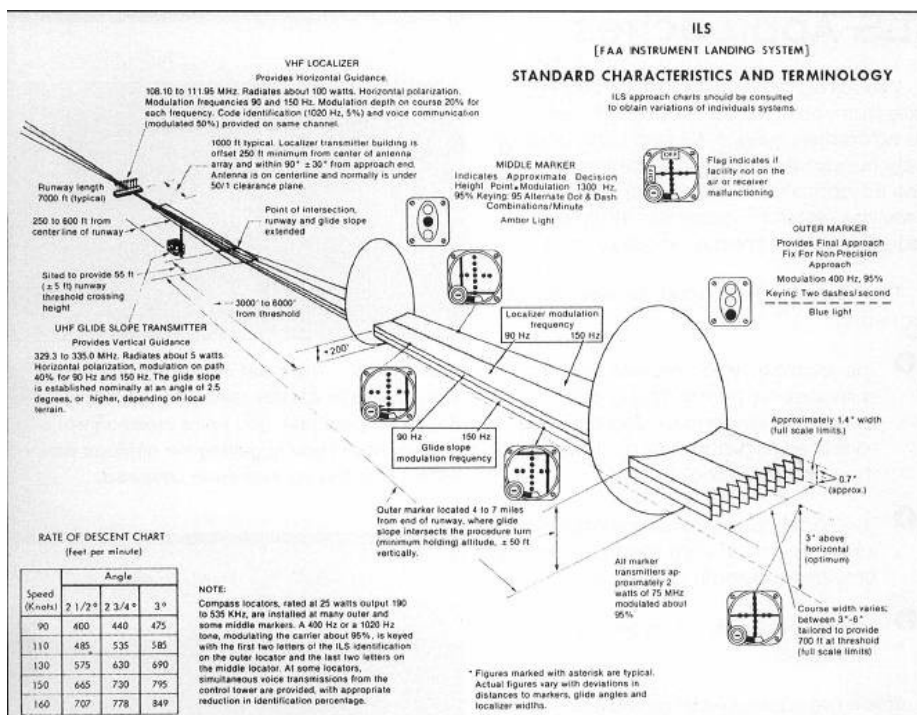


Figura 29 – Funcionamento do ILS

Fonte: [www.faa.gov](http://www.faa.gov)



## Apêndice 6 – Guião de entrevista ao Coronel de Artilharia Fernando Soares.

**Posto:** Coronel de Artilharia  
**Nome:** Fernando Soares  
**Local:** Estado-Maior General das Forças Armadas  
**Data:** 22 de Março de 2011

### Guião de entrevista:

1. Contributo da Geodesia nas Operações militares?
2. Refira qual a importância dos Modelos Digitais do Terreno (MDT) na condução das operações militares?
3. Contributo da Geodesia para uma informação georreferenciada?
4. No caso dos UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), que sistemas são utilizados para que estes veículos aéreos possuam uma maior autonomia em relação ao ser humano durante as suas variadas missões?
5. Serão os UAV sistemas importantes na condução de operações militares, nomeadamente para a artilharia? Porquê?
6. Caso os GNSS (nomeadamente o GPS) seja empastelado, que impactos trará neste tipo de sistemas? Teremos alternativas viáveis?



## **Respostas ao questionário:**

### **1. Contributo da Geodesia nas Operações militares?**

A Geodesia é uma das ciências base para a navegação dos mais diversos sistemas utilizados nas operações militares, já que actualmente e no futuro, os sistemas de armas têm cada vez mais alcances. Considera-se a Topografia como um caso particular da Geodesia (considera-se a sua utilização para distâncias até 30-40 km). A Geodesia é utilizada na definição dos sistemas de coordenadas e na localização de pontos à superfície terrestre a grandes distâncias, pois a necessidade de assegurar uma maior precisão dos cálculos exige a consideração de diversos parâmetros, tais como o conhecimento do campo gravítico terrestre ou a forma da Terra. Outras variáveis como a curvatura da terra, temperatura e pressão atmosférica da superfície e das camadas (mais ou menos próximas) da atmosfera atravessadas pelos objectos contribuem para a obtenção de resultados mais próximos da realidade, o que significa maior precisão no resultado final.

Como exemplo prático enuncio os mísseis intercontinentais, a utilização dos UAV nas mais variadas missões, desde vigilância, reconhecimento, ataque ao solo ou recolha de dados.

### **2. Refira qual a importância dos Modelos Digitais do Terreno (MDT) na conduta das operações militares?**

O conhecimento do terreno foi, desde a Antiguidade, um factor decisivo na conduta e no sucesso das operações militares. Assim é na actualidade e continuará a sê-lo no futuro.

Tem imensa importância porque é fundamental o Comandante da força ter o conhecimento detalhado do terreno, não só no aspecto morfológico mas também na interpretação do mesmo, prevendo ou antecipando soluções em tempo útil.

O factor Tempo é hoje em dia fulcral em qualquer actividade seja económica, financeira ou empresarial. Nas operações militares também o é e, por isso, a conjugação do terreno com outros factores (condições meteorológicas, posicionamento das NF ou do IN) exigem análises coerentes, validadas e rápidas para apoiar a decisão do Comandante.

É com base no conhecimento do terreno que o Comandante dispõe a sua força, define os eixos de aproximação, antecipa zonas de emboscadas, evita inacessibilidades ou antevê posições de artilharia.

Este modo de representar o terreno veio facilitar a consulta, o tratamento e a análise de dados, substituir as antigas cartas topográficas em papel nestas tarefas,



embora a cartografia impressa em papel continue a ter o seu espaço nas operações militares.

### **Contributo da Geodesia para uma informação georreferenciada?**

A Geodesia tem uma grande importância para a aquisição de informação georreferenciada a grandes distâncias. Pelas razões anteriormente apontadas, a utilização de sensores que recolhem dados a grandes distâncias e a diferentes altitudes, recorrem àquela ciência.

Se considerarmos que os sensores poderão também recolher dados que possibilitem uma melhor definição do terreno (em áreas limitadas), então poderemos obter maiores precisões no processo da aquisição de objectivos e mitigar os danos colaterais.

### **3. No caso dos UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), que sistemas são utilizados para que estes veículos aéreos possuam uma maior autonomia em relação ao ser humano durante as suas variadas missões?**

Os Sistemas de Comando e Controlo dos UAV estão suportados numa rede de satélites de comunicações de alta tecnologia, fundamentais na transmissão bidireccional entre a consola de comando e o UAV. Estes sistemas caracterizam-se por uma elevada fiabilidade e redundância e muito reduzida latência, ou seja, dado que o operador do UAV poderá estar a milhares de quilómetros do local onde o UAV se encontra a desempenhar a sua missão, a “ reacção ” do UAV aos comandos produzidos pelo operador terá de ser “praticamente instantânea”.

Por outro lado, os sistemas de navegação dos UAV utilizam, para além de sistemas inerciais, a constelação de satélites de navegação disponíveis, assegurando a precisão necessária para as missões atribuídas a estes veículos.

### **5. Serão os UAV sistemas importantes na condução de operações militares, nomeadamente para a artilharia? Porquê?**

Sim, são extremamente importantes pois, aliando a versatilidade e os baixos custos de produção, constituem um sistema em que a vida humana não corre riscos, visto não serem tripulados, e por desempenharem um leque diversificado de missões. Tratando-se de um sistema com uma tecnologia bastante avançada e visto a artilharia ser a arma que mais auxilia o comandante da força no apoio de fogos indirectos, os UAV são actualmente (e serão cada vez mais no futuro) uma componente fundamental na produção do ciclo de notícias e de informações do campo de batalha, pois constitui uma das formas mais rápidas e eficazes de recolherem dados o mais actualizados possível.



Também estes sistemas poderão contribuir para a correcção do tiro de artilharia, operando com “observadores” aéreos avançados, na recolha de danos sobre o objectivo ou mesmo recolher imagens que possibilitem a execução prévia do reconhecimento de posições de artilharia.

**6. Caso os sistemas de posicionamento globais, (nomeadamente o GPS) sejam empastelados, que impacto trará neste tipo de sistemas? Teremos alternativas viáveis?**

O GPS começou por ser um sistema estritamente militar, tendo posteriormente sido facultado o seu acesso à comunidade civil, até aos dias de hoje, mantendo-se o seu controlo por parte do DoD dos EUA.

Actualmente múltiplas actividades e a operacionalidade de outros sistemas dependem do GPS, pelo que a degradação dos seus sinais, ou o seu empastelamento, acarretariam graves consequências, por exemplo, a todo o sistema de transportes a nível mundial.

Contudo, em situações de conflito que envolvam os EUA, estes poderão propositadamente degradar “localmente” a precisão obtida pelos receptores, inibindo a determinados utilizadores o acesso a dados mais fidedignos.

Actualmente, existe apenas uma alternativa ao GPS americano, o GLONASS, sistema de posicionamento russo, que operado conjuntamente possibilita a obtenção de valores posicionais mais precisos.

Existem no mercado equipamentos que operam simultaneamente com os dois sistemas.



## **Apêndice 7 – Guião de entrevista ao Tenente de Engenharia Aeronáutica João Caetano**

**Posto:** Tenente de Engenharia Aeronáutica  
**Nome:** João Caetano  
**Local:** Academia da Força Aérea  
**Data:** 25 de Março de 2011

### **Guião de entrevista:**

1. Refira sucintamente o funcionamento de um UAS.
2. De que forma este tipo de sistemas veio a apresentar uma nova valência na condução das operações militares?
3. De que forma estas plataformas podem garantir uma maior autonomia no desempenho das missões que lhes estão atribuídas?
4. São os GNSS preponderantes para esta autonomia? De que forma?



## **1. Refira sucintamente o funcionamento de um UAS.**

UAS composto pelo *System Breakdown Structure* abaixo consiste no aglomerado de diversos subsistemas e componentes. O UAS é primariamente dividido em UAV, Segmento de Terra (Ground Control Station) e Sistema de Comando e Controlo.

O UAV divide-se nos subsistemas mencionados abaixo. O controlo a bordo é assegurado por um piloto automático capaz de gerir a atitude e planos de voo da plataforma. O Piloto automático usa como sensores de navegação e apoio ao controlo, sensores de inércia IMU com acelerómetros e giroscópios, tomadas de pressão estática e dinâmica e sensor GPS.

A operação pode ser efectuada com ou sem comunicações em tempo real com a plataforma. No primeiro caso, o operador tem a hipótese de controlar o UAV por inputs de referências e pontos no terreno, em que o UAV faz a navegação por pontos ou controlo por *Fly-by-wire*.

O lançamento e recuperação das plataformas pode ser manual, com auxilio de um piloto com comando ou autonomamente. Para lançamento (*launch/deployment*) pode ser usada uma pista ou uma catapulta (caso o UAV tenha um peso máximo à descolagem inferior a 25kg). A recuperação (*recovery*) pode ser feita numa pista ou por rede (*net recovery*).

O UAV tem a capacidade de operar com comunicações via satélite, não necessitando de “linha de vista” nas comunicações, operando em qualquer parte do mundo, com uma equipa de operação em local fixo.

Possui sistemas a bordo capazes de processar imagem, fazer seguimento de alvos (mesmo que variem entre deslocamento e estacionário) através de modos tipo *Orbit*.

As plataformas estão equipadas de sensores electro-ópticos e infravermelhos capazes de vigilância com diversas condições de luminosidade.

Em caso de perda de comunicações durante o voo, o UAV regressa sozinho por um caminho anteriormente carregado no computador de bordo, para uma qualquer estação de terra planeada, aterrando em modo autónomo.

## **2. De que forma este tipo de sistemas veio apresentar uma nova valência na condução das operações militares?**

Este tipo de sistemas vem a apresentar uma nova valência na condução de operações militares, já que apresenta um número de características próprias que o meio aéreo convencional (aeronaves tripuladas) não apresenta. Refiro a inexistência de perigo para a tripulação (não possui), a inexistência de fadiga humana e limites fisiológicos



(inerente às manobras realizadas pelas aeronaves do tipo caça como o exemplo o F-16 FF, em que a manobrabilidade é comprometida pelo piloto).

**3. De que forma estas plataformas podem garantir uma maior autonomia no desempenho das missões que lhes estão atribuídas?**

Depende muito da tecnologia inerente à plataforma. Se esta possuir uma tecnologia dita avançada, com um computador de bordo associado a um piloto automático, esta pode ser “programada” em terra, introduzindo-lhe “waypoints” (através de coordenadas), associado à velocidade de cruzeiro, assim como a altitude de operação. Assim o UAV irá efectuar a sua missão obdecendo às ordens introduzidas no computador de bordo. Estes dados podem ser alterados pelo operador (es) de UAV em qualquer instante, mesmo durante a missão.

**4. São os GNSS preponderantes para esta autonomia? De que forma?**

Actualmente as plataformas utilizam sistemas de posicionamento global, (GPS) modo normal (não militar). No entanto, as plataformas utilizadas operacionalmente por forças estrangeiras no terreno (Predator, Hermes, B-Hunter) utilizam soluções GPS militar mais fiáveis.

As plataformas de que dispomos podem estar equipadas com DGPS para auxílio à navegação para operações em torno da *Ground Control Station* (5km de raio).

O sensor GPS assume particular importância na operação de um sistema autónomo. Actualmente o GPS é o principal elemento de referência para posicionamento espacial 3D. Em caso de mitigação GPS, o UAV consegue estimar a posição através de algoritmos próprios que lêem os registos dos sensores IMU e do magnetómetro. No entanto, esta estimação tem um erro que se propaga com o tempo. Uma operação de uma hora sem GPS poderá conduzir a um erro de posição superior a 5km.

Deste modo, actualmente, os sistemas GNSS assumem-se como preponderantes e necessários à operação deste tipo de sistemas.

**5. Encontrando-se habilitado como operador deste tipo de sistemas, quais as maiores dificuldades que encontra para o desempenho desta função**

Neste momento o mais difícil é suportar as horas de operação mantendo o *Situational Awareness* necessário, principalmente se estivermos a voar com outros UAS no mesmo espaço ou operação.